

Eletromagnetismo II

Profa Hilde Harb Buzzá

Corrente e Resistência

Profa Hilde Harb Buzzá

O que foi visto até aqui?

Eletro - estática



O que vamos ver agora?

Carga em movimento!



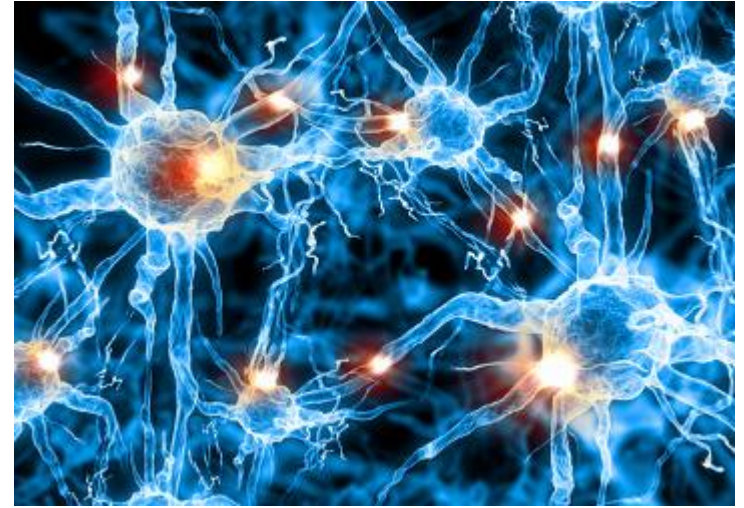
O que vamos ver agora?

Carga em movimento!

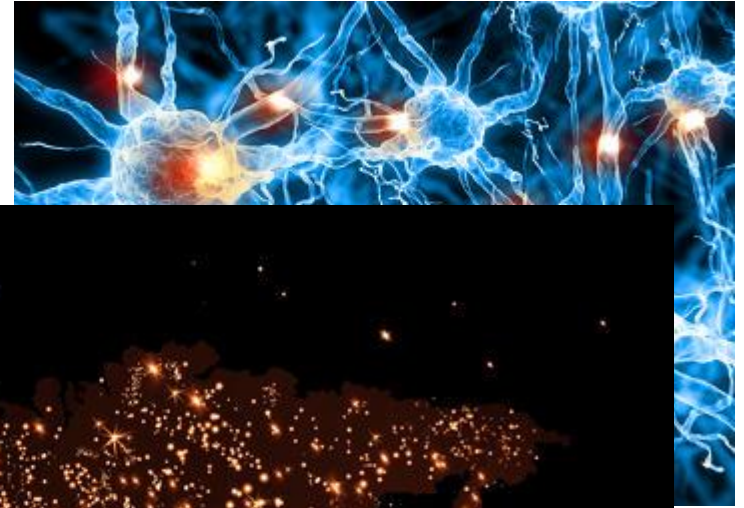
Correntes Elétricas



Corrente Elétrica



Corrente Elétrica



Corrente Elétrica

“movimento de partículas carregadas”

Corrente Elétrica

“movimento de partículas carregadas”

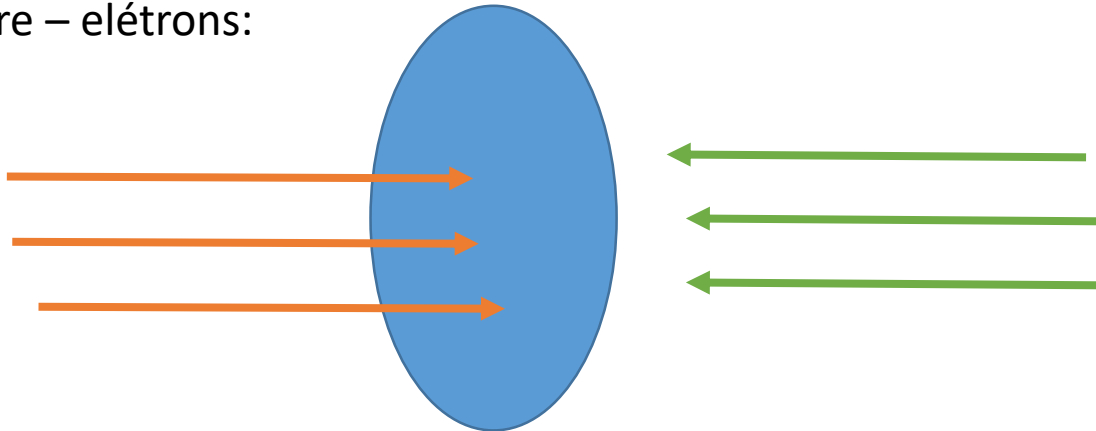
“maaaaaas, nem todas as partículas carregadas que se movem, produzem corrente elétrica”

Corrente Elétrica

“movimento de partículas carregadas”

“maaaaaaas, nem todas as partículas carregadas que se movem, produzem corrente elétrica”

Fio de cobre – elétrons:

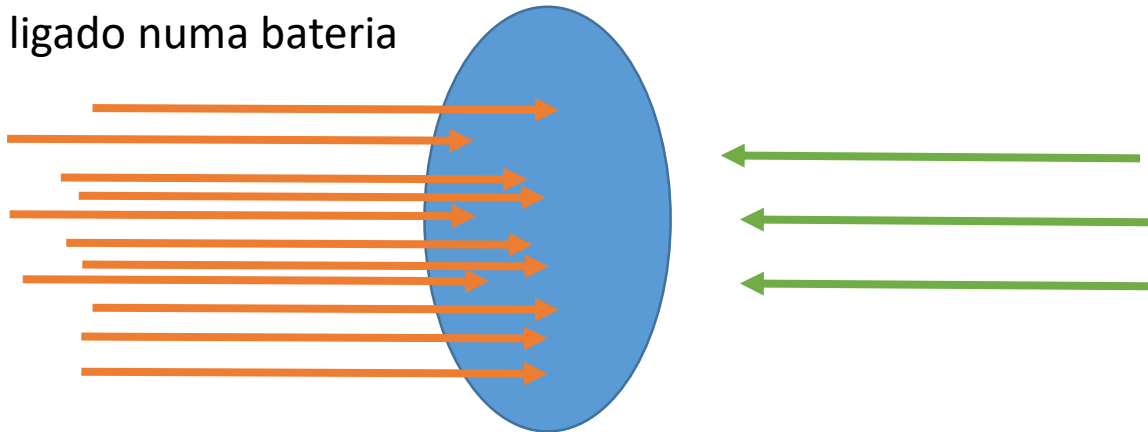


Corrente Elétrica

“movimento de partículas carregadas”

“maaaaaaas, nem todas as partículas carregadas que se movem, produzem corrente elétrica”

Fio de cobre ligado numa bateria

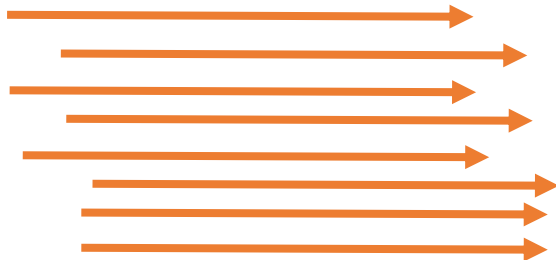


Corrente Elétrica

“movimento de partículas carregadas”

“maaaaaaas, nem todas as partículas carregadas que se movem, produzem corrente elétrica”

Fio de cobre ligado numa bateria



Fluxo líquido de cargas → corrente elétrica

Corrente Elétrica

“movimento de partículas carregadas”

“maaaaaaas, nem todas as partículas carregadas que se movem, produzem corrente elétrica”

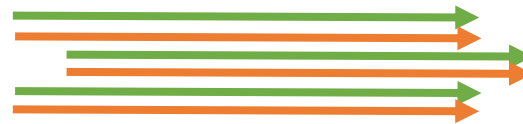


Cargas positivas (prótons da H₂O)

Corrente Elétrica

“movimento de partículas carregadas”

“maaaaaaas, nem todas as partículas carregadas que se movem, produzem corrente elétrica”

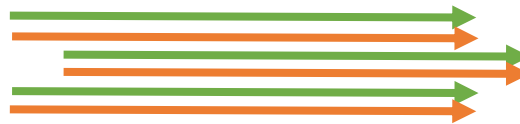


Cargas positivas (prótons da H₂O)
Cargas negativas (elétrons da H₂O)

Corrente Elétrica

“movimento de partículas carregadas”

“maaaaaaas, nem todas as partículas carregadas que se movem, produzem corrente elétrica”



Cargas positivas (prótons da H₂O)
Cargas negativas (elétrons da H₂O)

Sem fluxo de cargas

Sem corrente elétrica

Corrente Elétrica

Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).

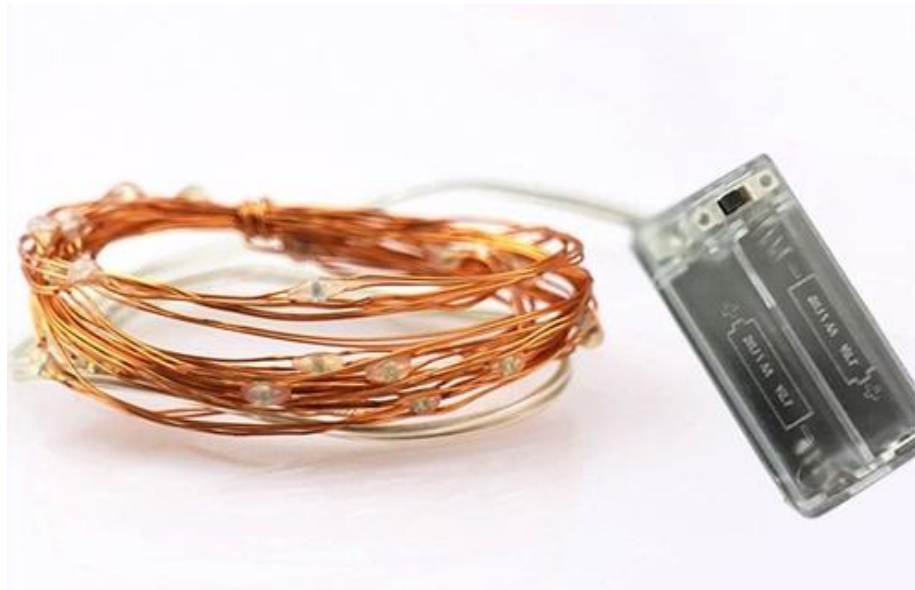
Corrente Elétrica

Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).



Corrente Elétrica

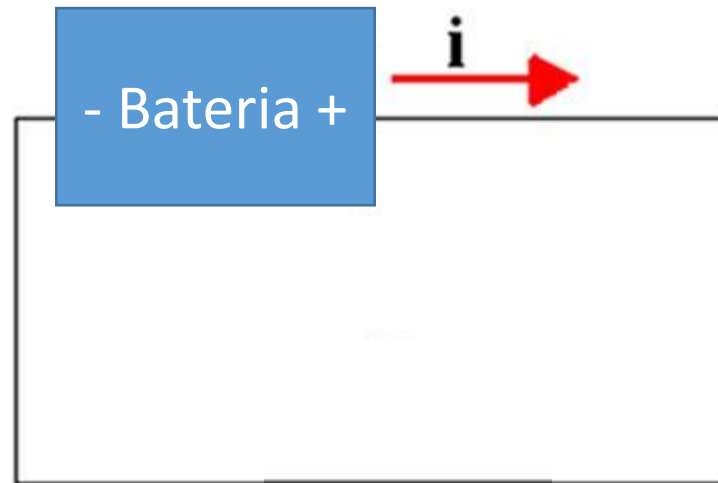
Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).



Diferença de potencial →
Campos elétricos são criados →
Força sobre os elétrons de condução

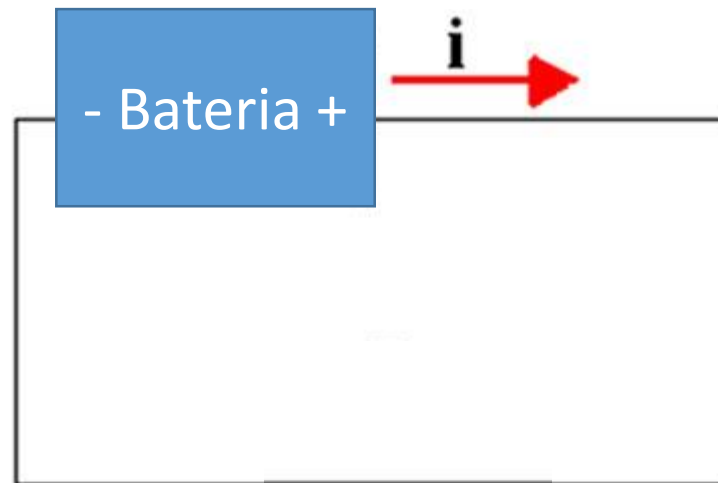
Corrente Elétrica

Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).



Corrente Elétrica

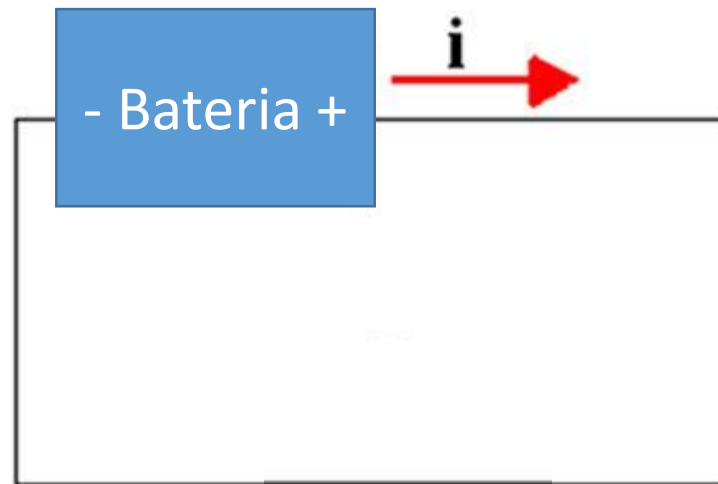
Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).



$$i = \frac{dq}{dt}$$

Corrente Elétrica

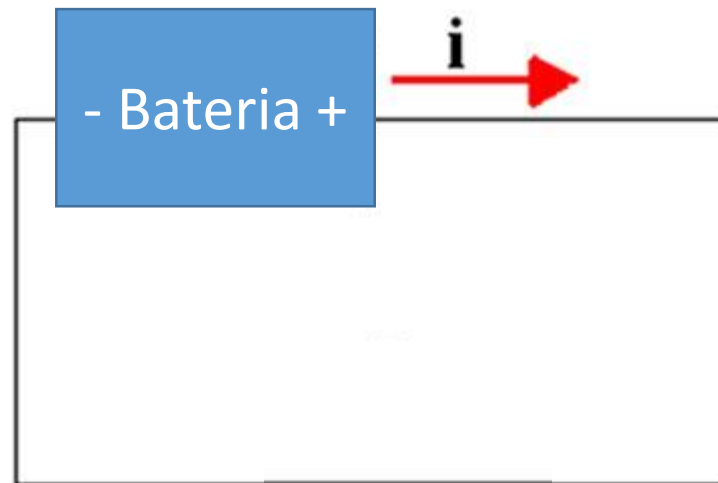
Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).



$$i = \frac{dq}{dt}$$

Corrente Elétrica

Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).

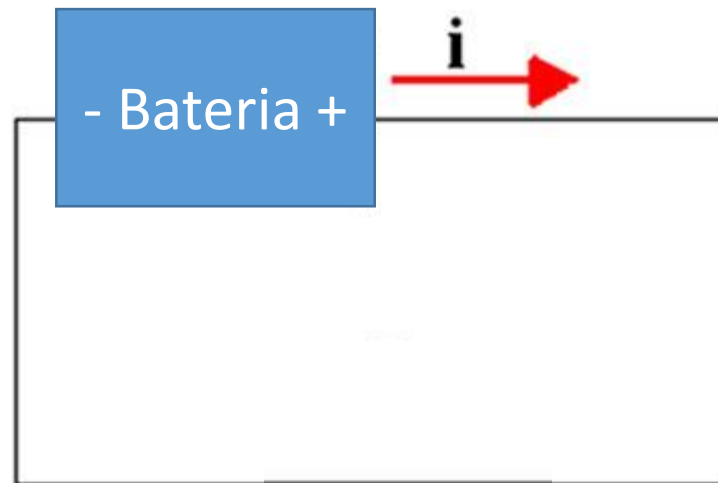


$$i = \frac{dq}{dt}$$

Qual é a carga que passa por um plano num intervalo de tempo t: $q = \int dq = \int i \cdot dt$

Corrente Elétrica

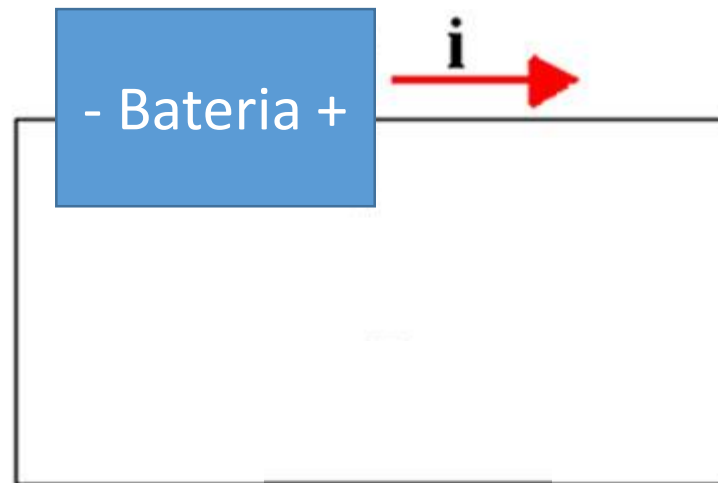
Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).



$$[i] =$$

Corrente Elétrica

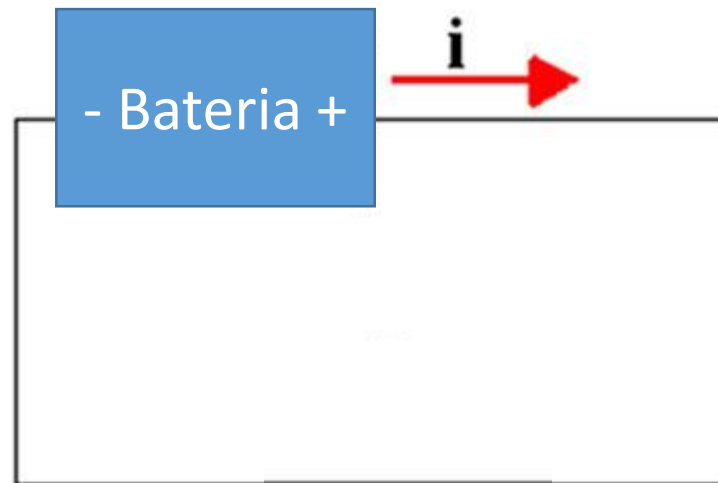
Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).



$$[i] = \frac{C}{s} = \text{Ampère} = A$$

Corrente Elétrica

Correntes constantes de elétrons em condutores metálicos (como o fio de cobre).

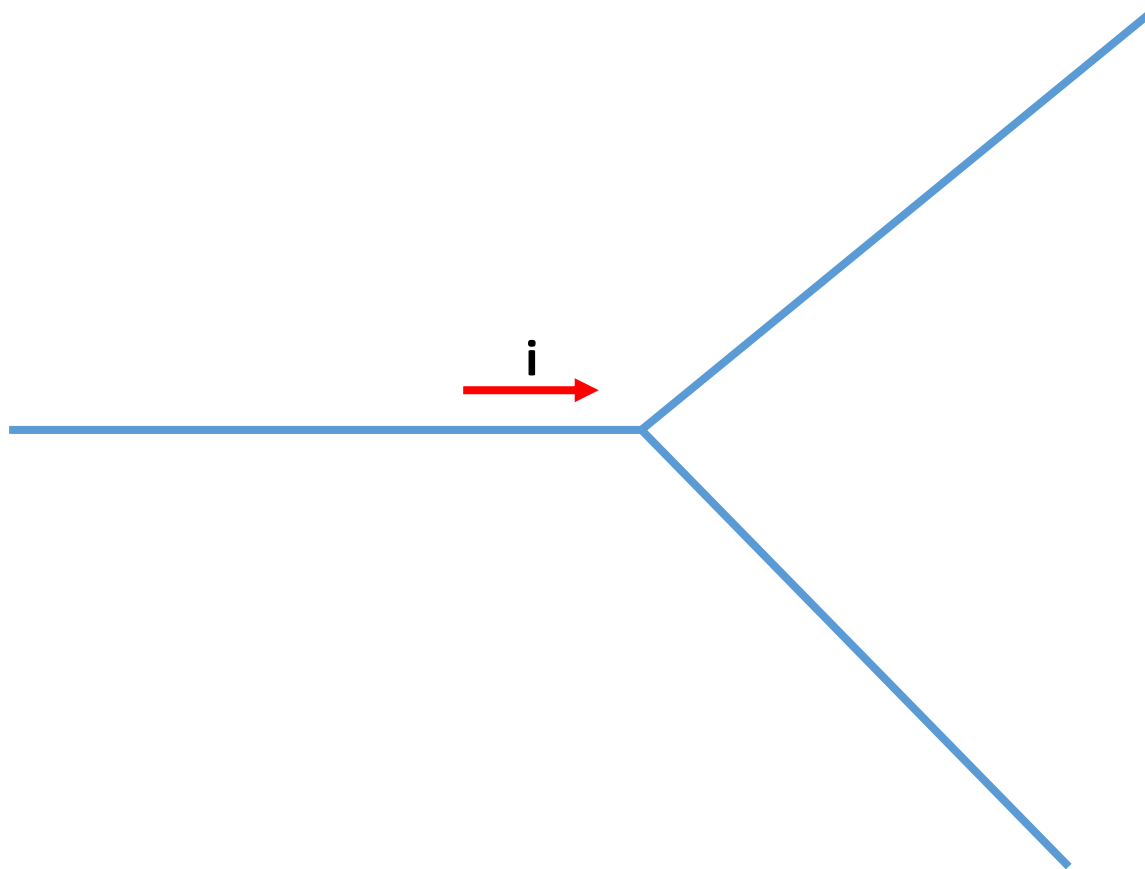


$$[i] = \frac{C}{s} = \textit{Ampère} = A$$

$$[i] = \frac{C}{s} = \textit{escalar}$$

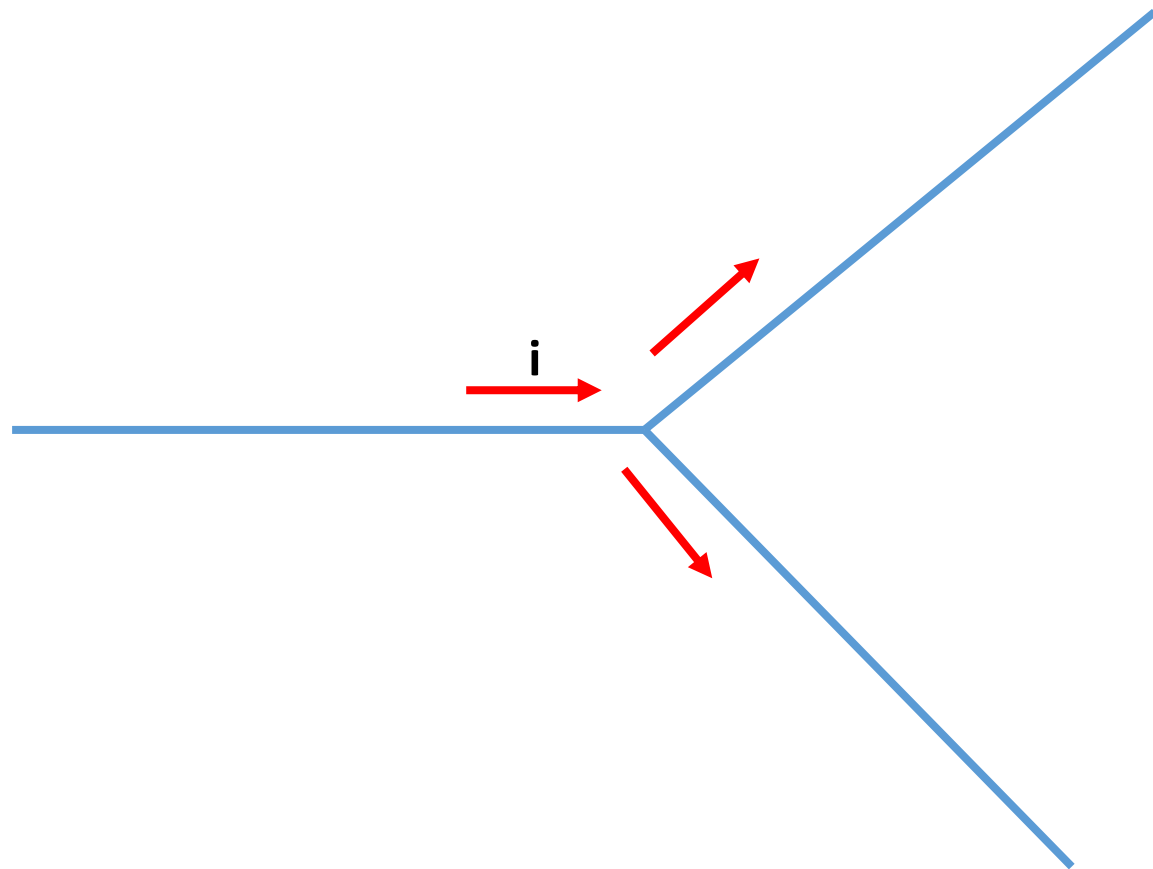
Não se aplica as regras vetoriais!

Corrente Elétrica



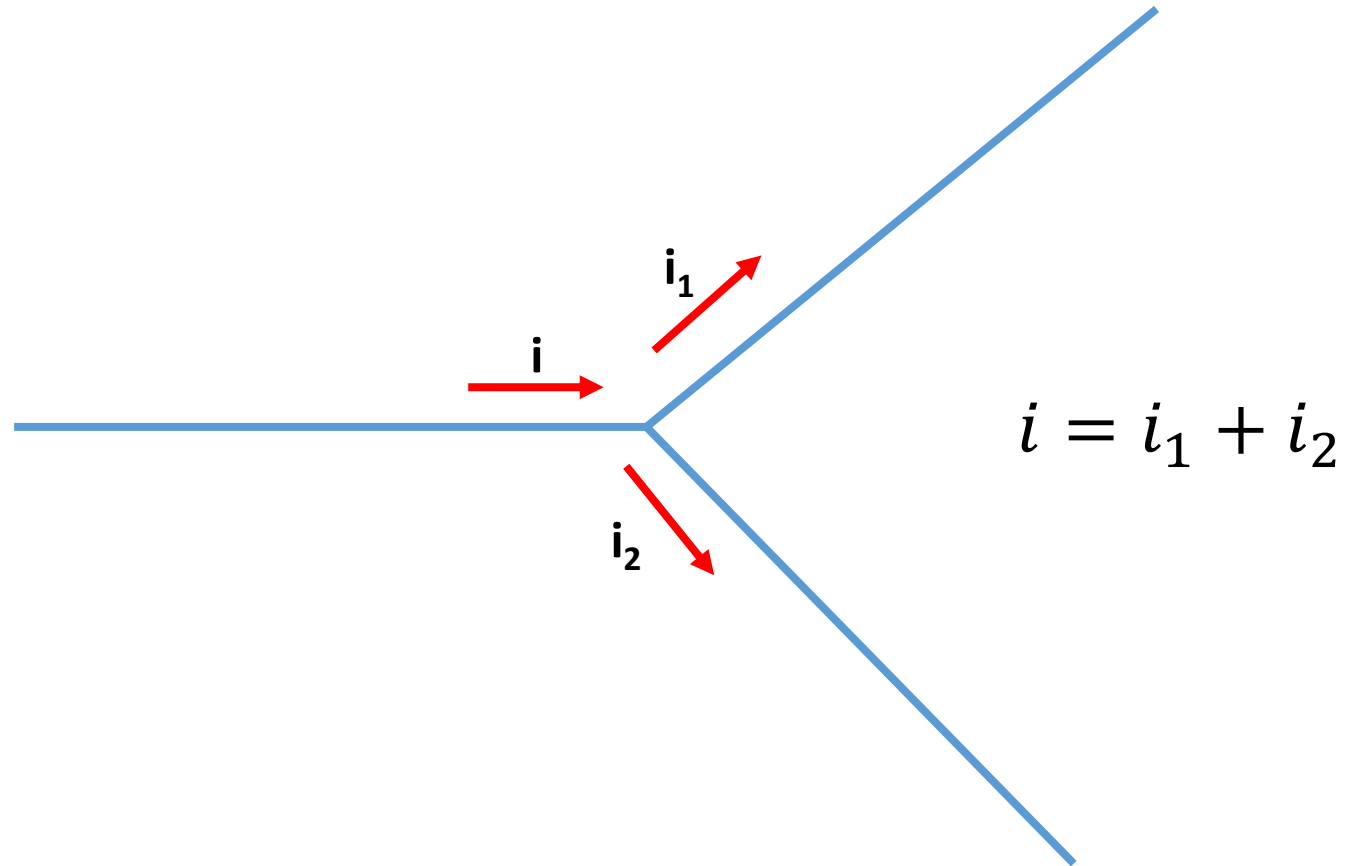
Não se aplica as regras vetoriais!

Corrente Elétrica



Não se aplica as regras vetoriais!

Corrente Elétrica



Não se aplica as regras vetoriais!

O sentido da Corrente Elétrica

+



-

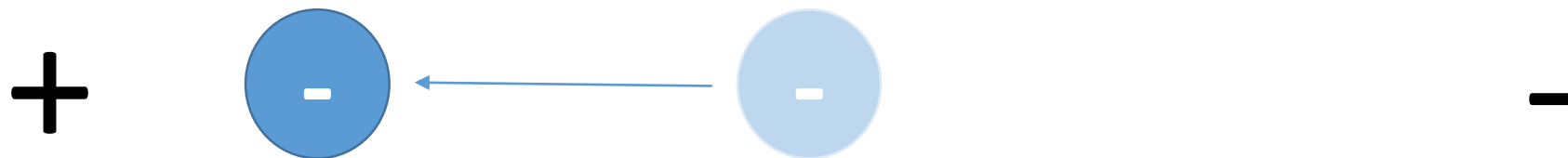
O sentido da Corrente Elétrica

+

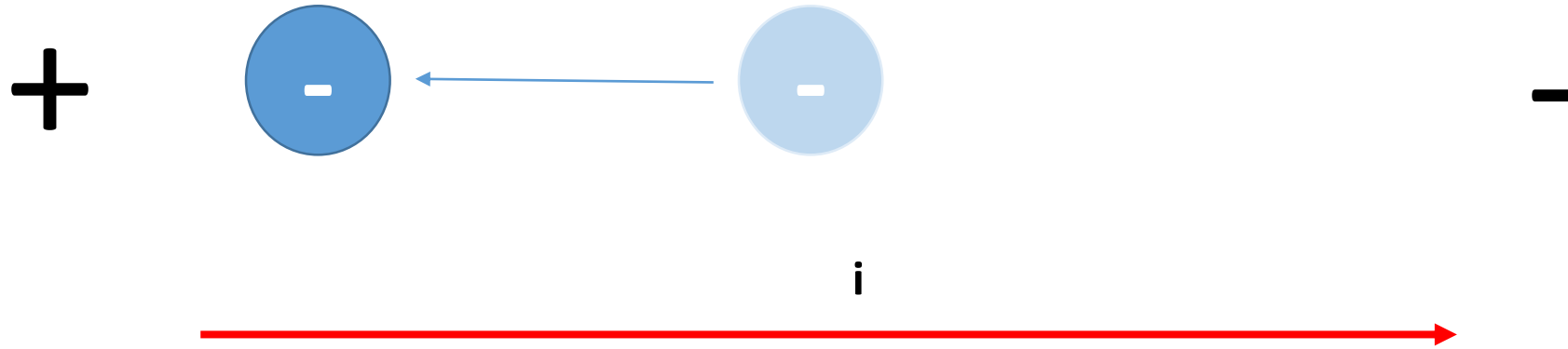


-

O sentido da Corrente Elétrica

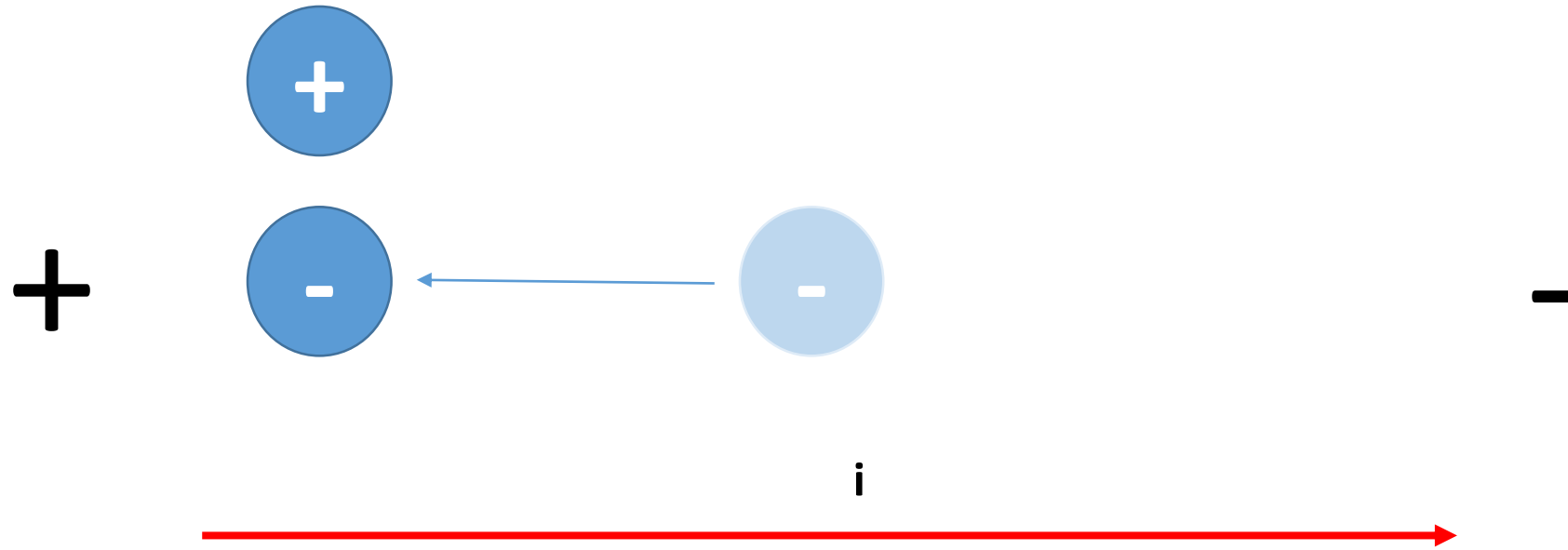


O sentido da Corrente Elétrica



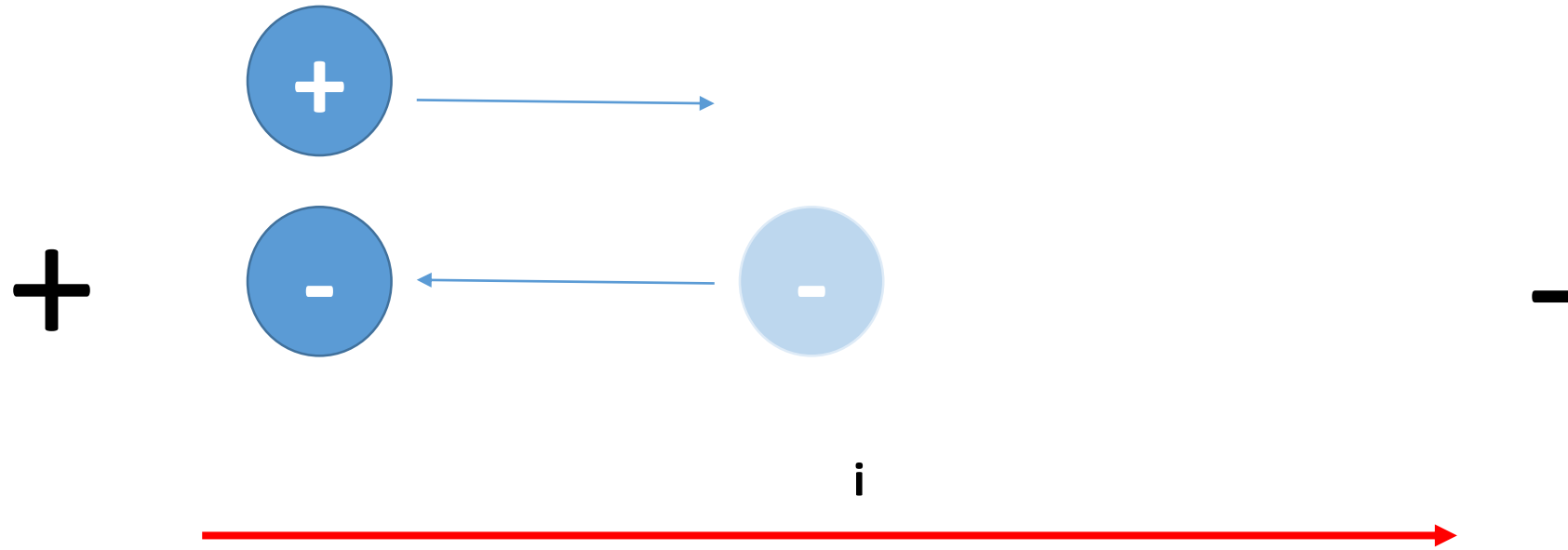
Por convenção histórica: o sentido da corrente é desenhada no sentido em que as cargas positivas se moveriam!

O sentido da Corrente Elétrica



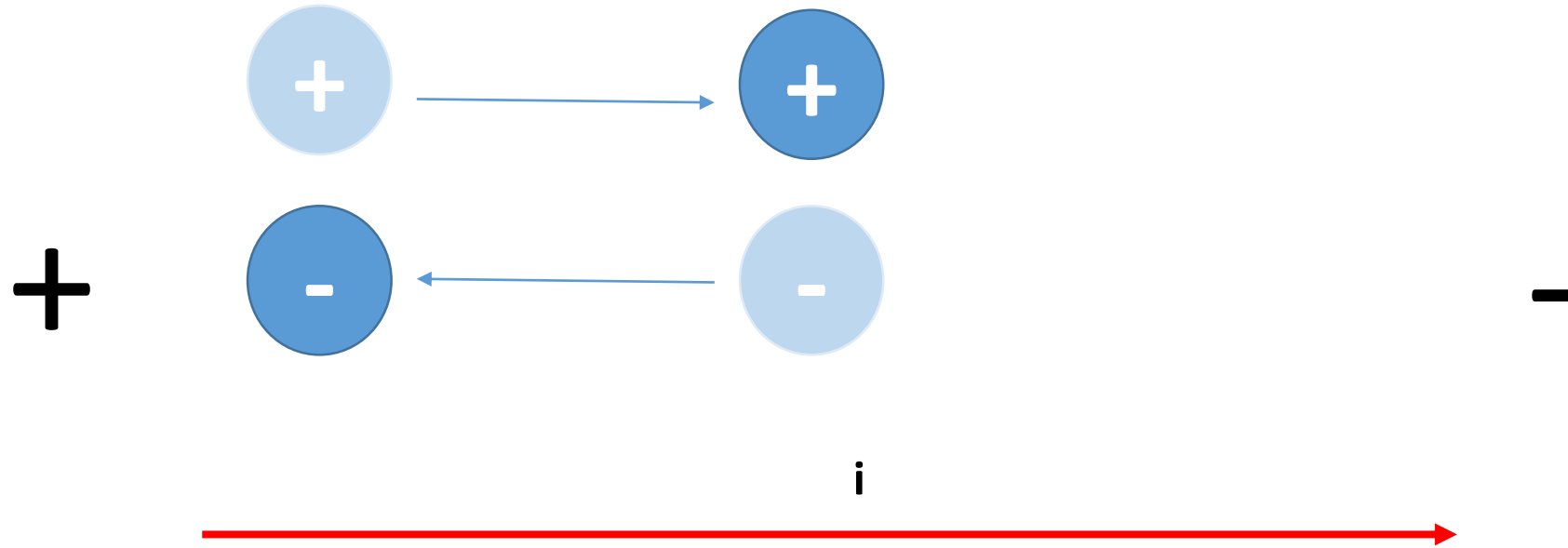
Por convenção histórica: o sentido da corrente é desenhada no sentido em que as cargas positivas se moveriam!

O sentido da Corrente Elétrica



Por convenção histórica: o sentido da corrente é desenhada no sentido em que as cargas positivas se moveriam!

O sentido da Corrente Elétrica

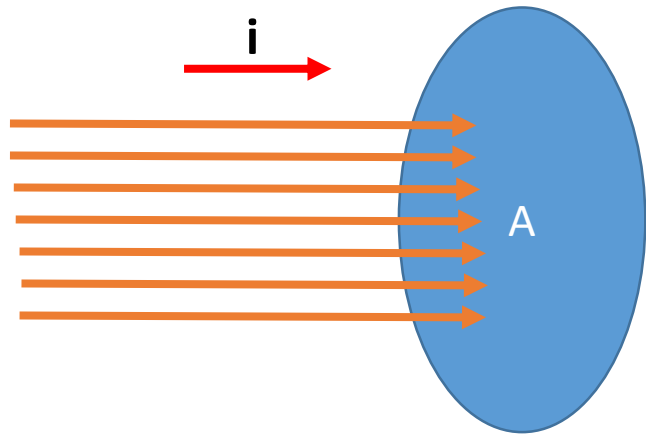


Por convenção histórica: o sentido da corrente é desenhada no sentido em que as cargas positivas se moveriam!

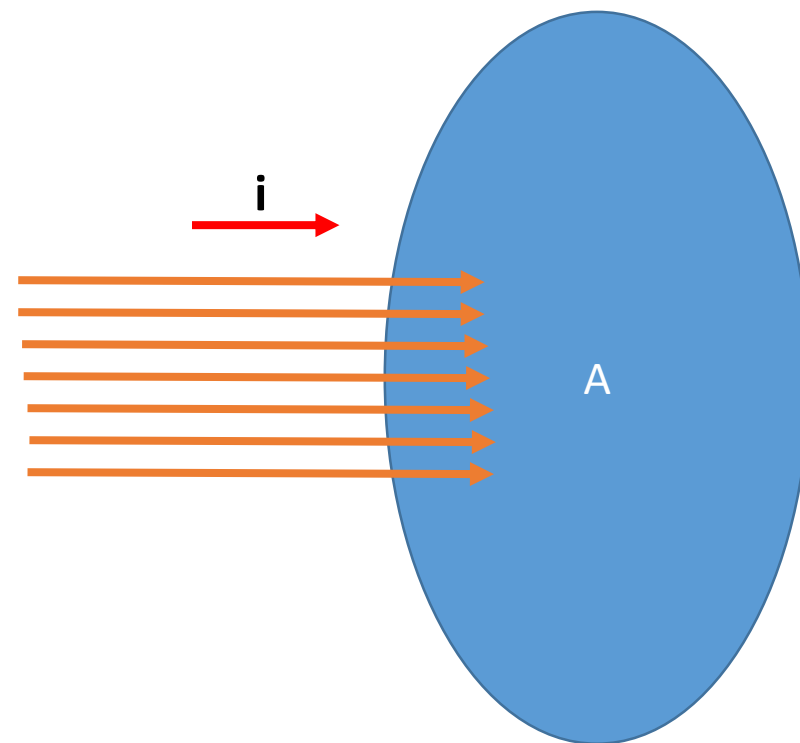
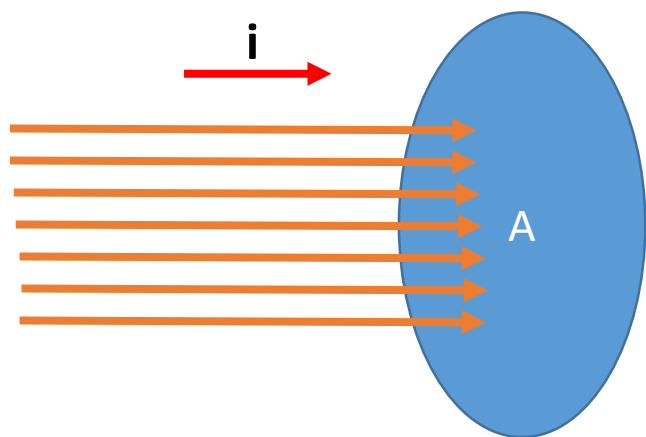
Vamos pensar:

Densidade de Corrente

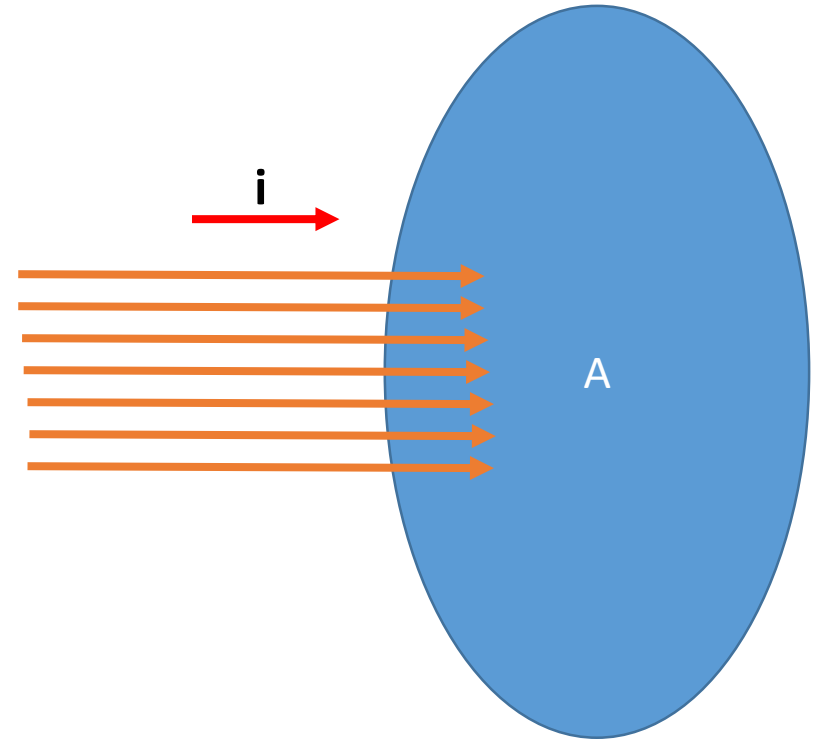
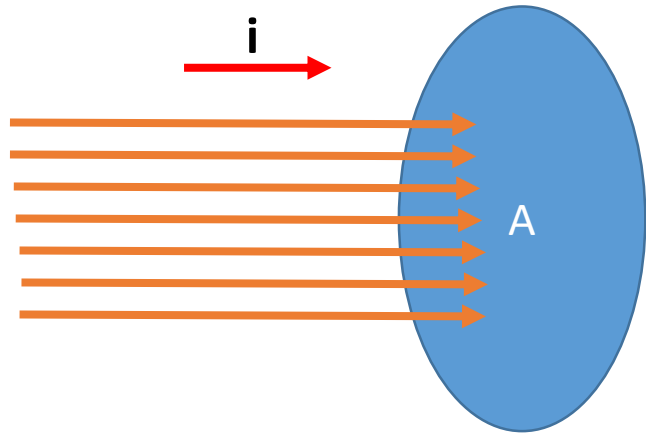
Densidade de Corrente



Densidade de Corrente

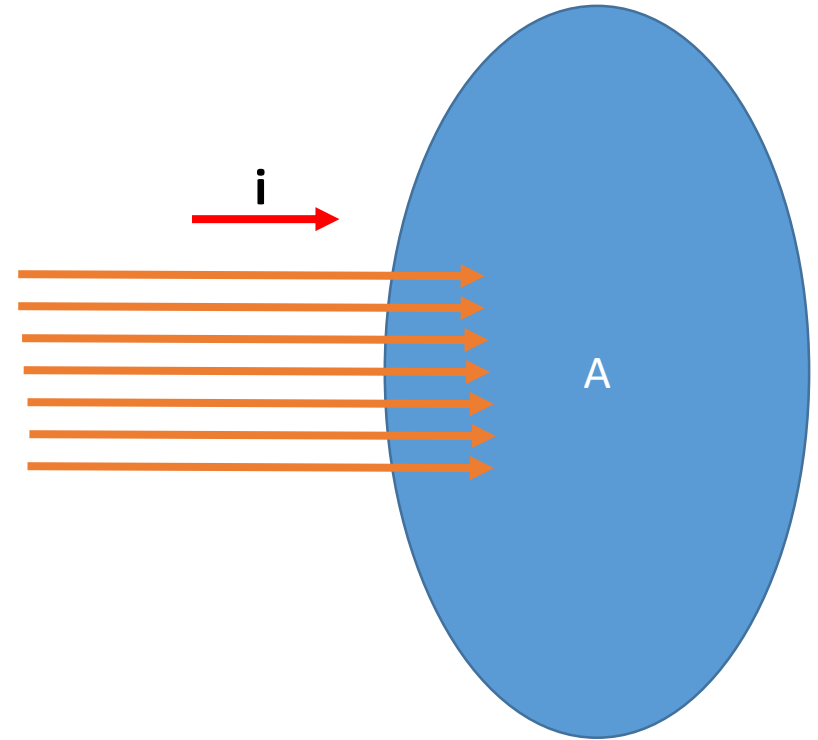
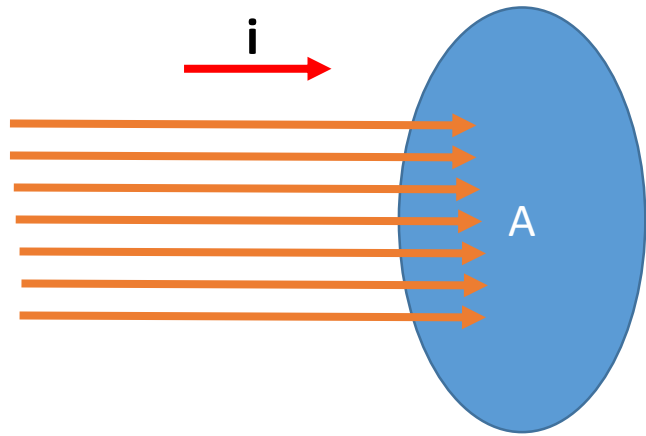


Densidade de Corrente



$$J = \frac{i}{A}$$

Densidade de Corrente

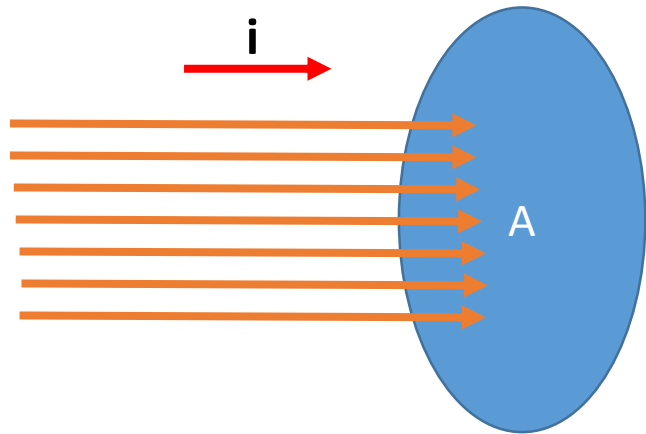


Generalizando:

$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

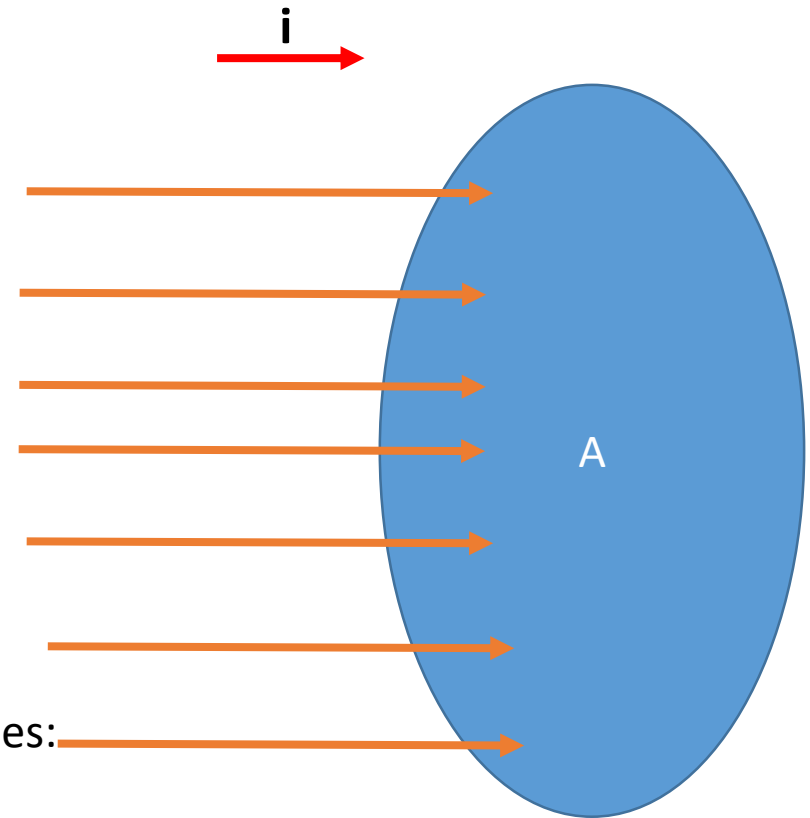
$$J = \frac{i}{A}$$

Densidade de Corrente



Generalizando:

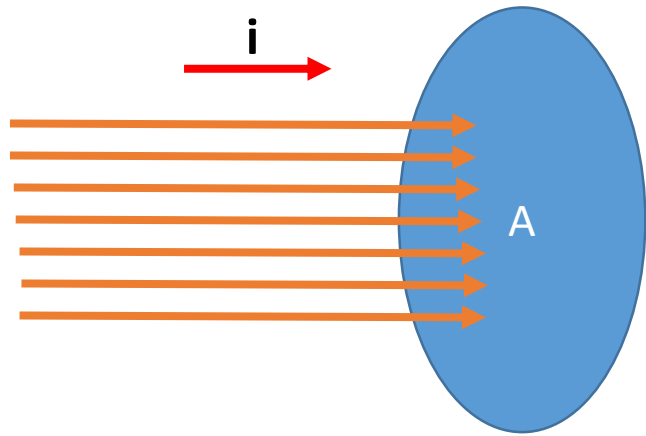
$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}$$



Para correntes Uniformes:

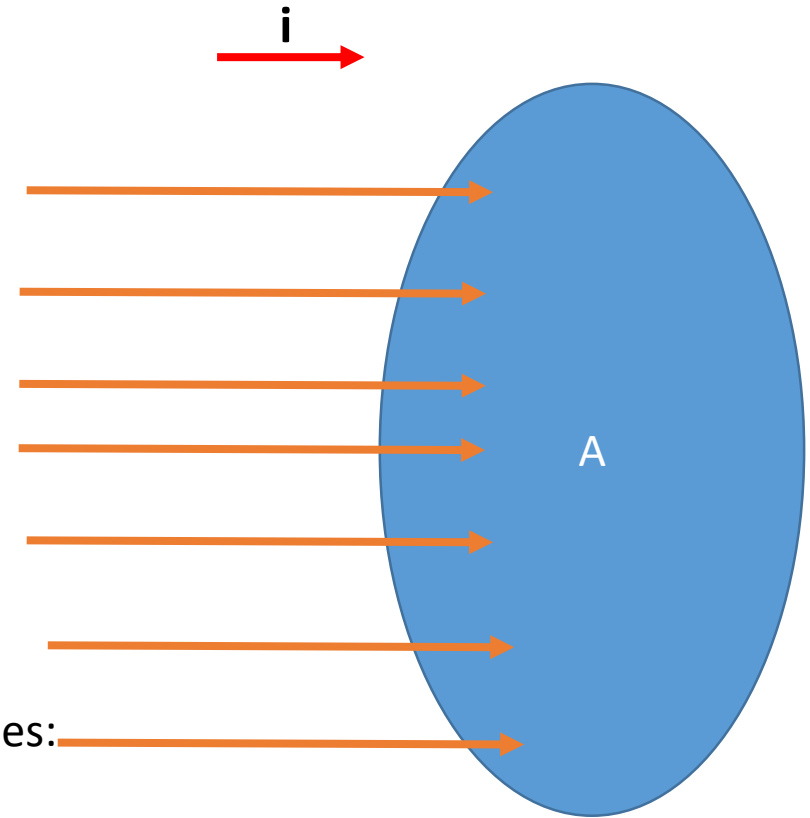
$$J = \frac{i}{A}$$

Densidade de Corrente



Generalizando:

$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

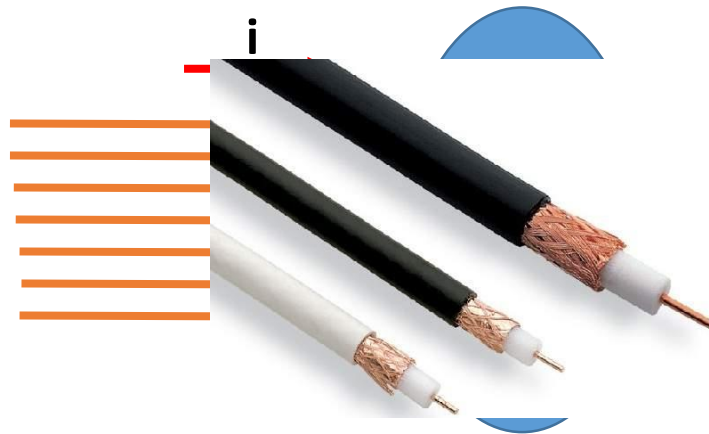


Para correntes Uniformes:

$$J = \frac{i}{A}$$

A → área total da superfície

Densidade de Corrente



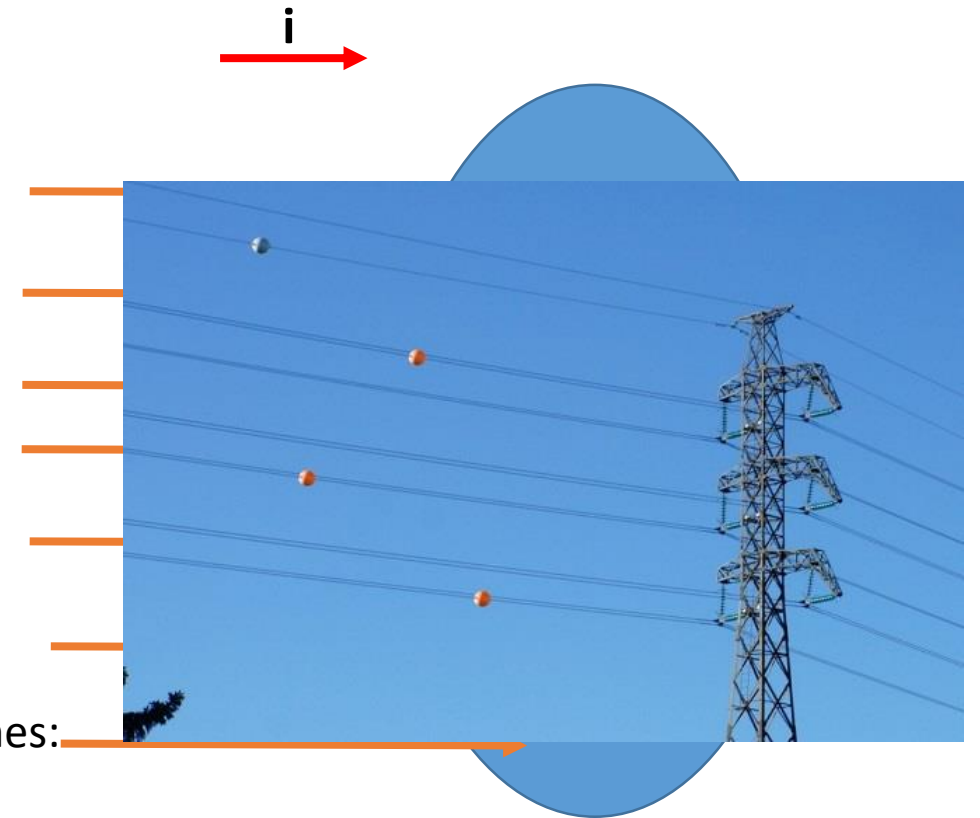
Generalizando:

$$i = \int \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

Para correntes Uniformes:

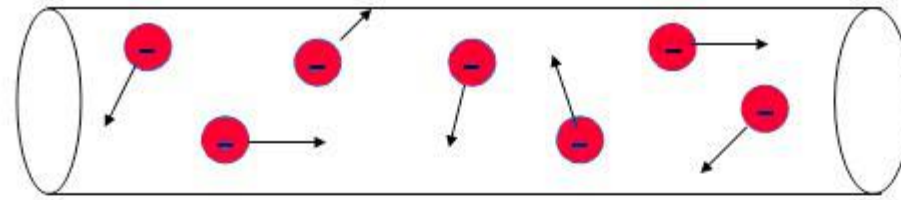
$$J = \frac{i}{A}$$

$A \rightarrow$ área total da superfície



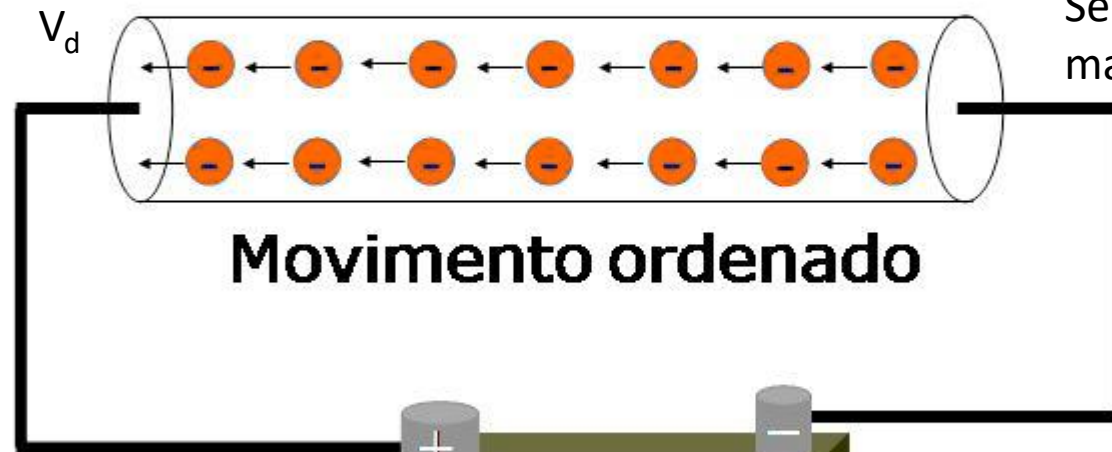
Velocidade de Deriva

Velocidade de Deriva



Se movem aleatoriamente

Movimento desordenado

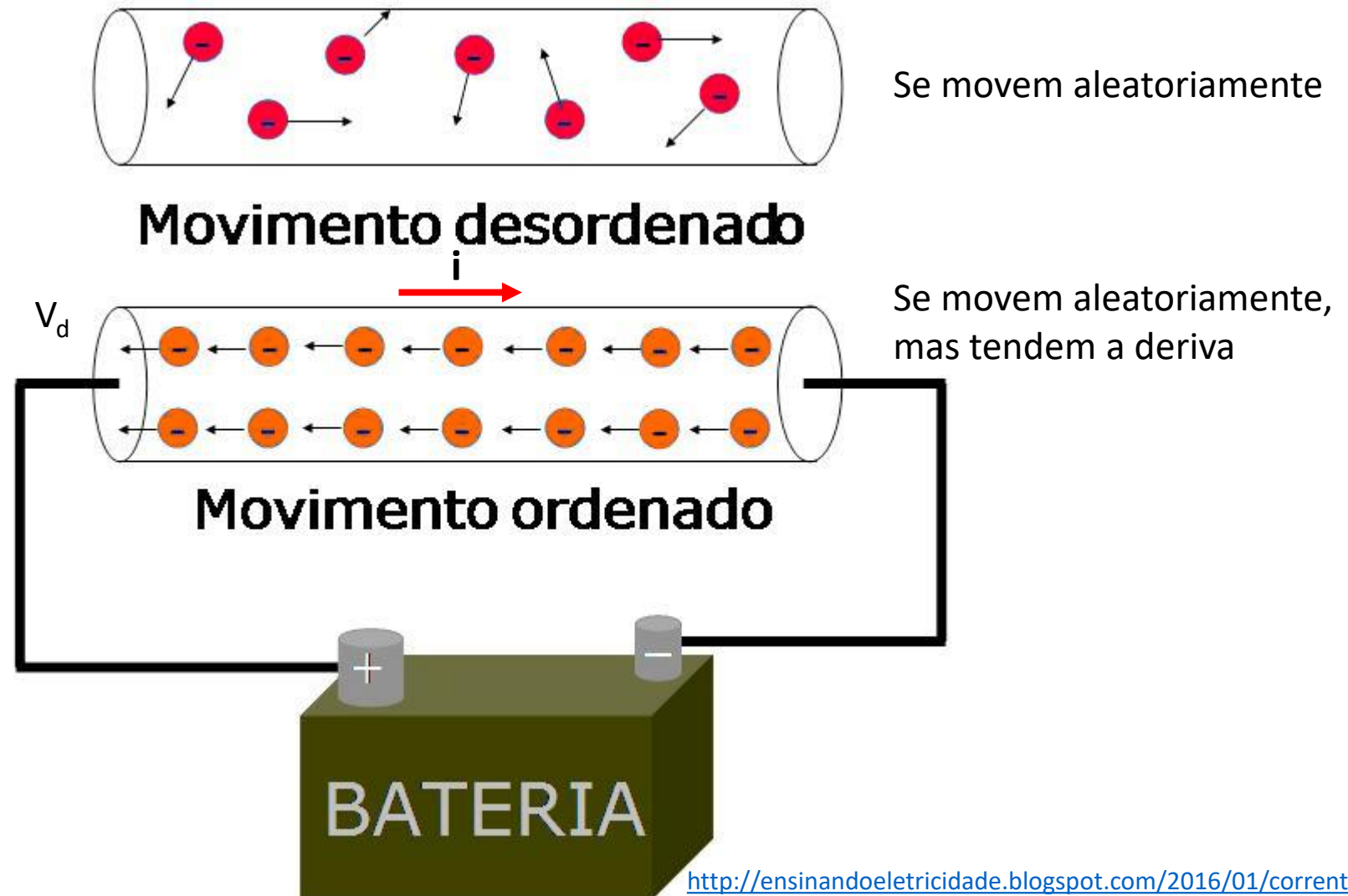


Se movem aleatoriamente, mas tendem a deriva

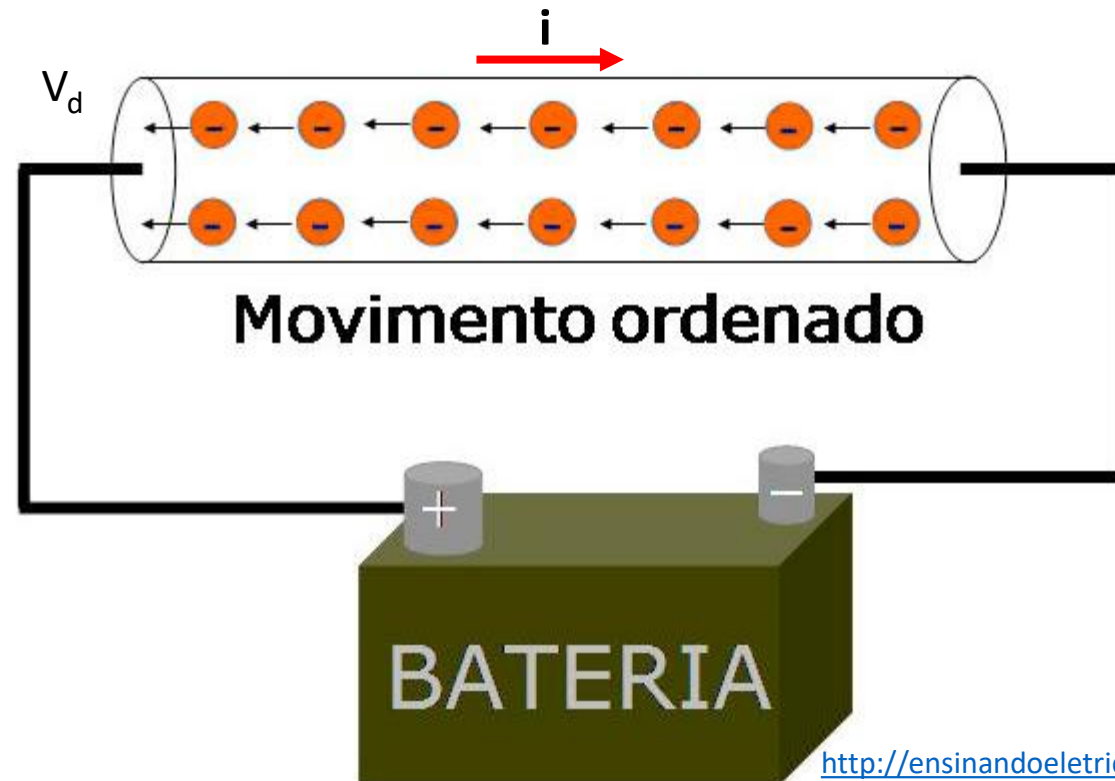
Movimento ordenado

BATERIA

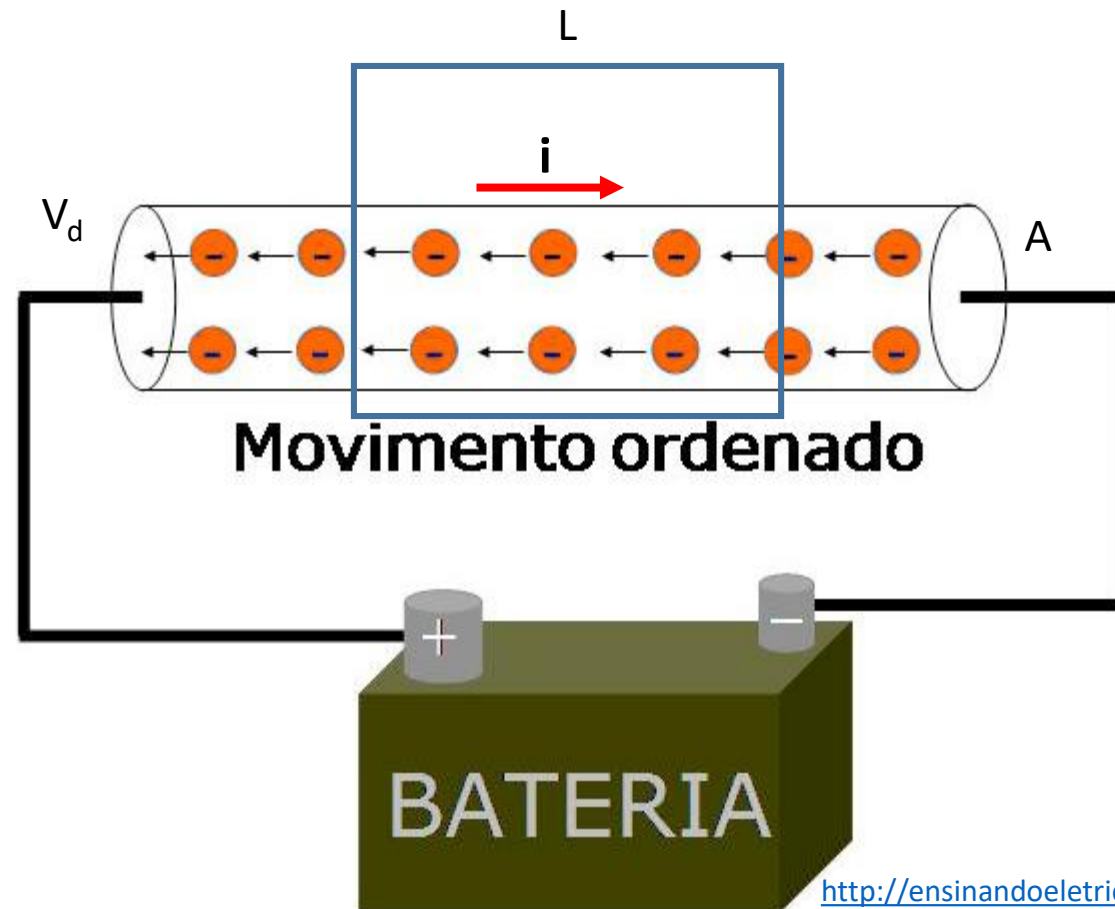
Velocidade de Deriva



Velocidade de Deriva

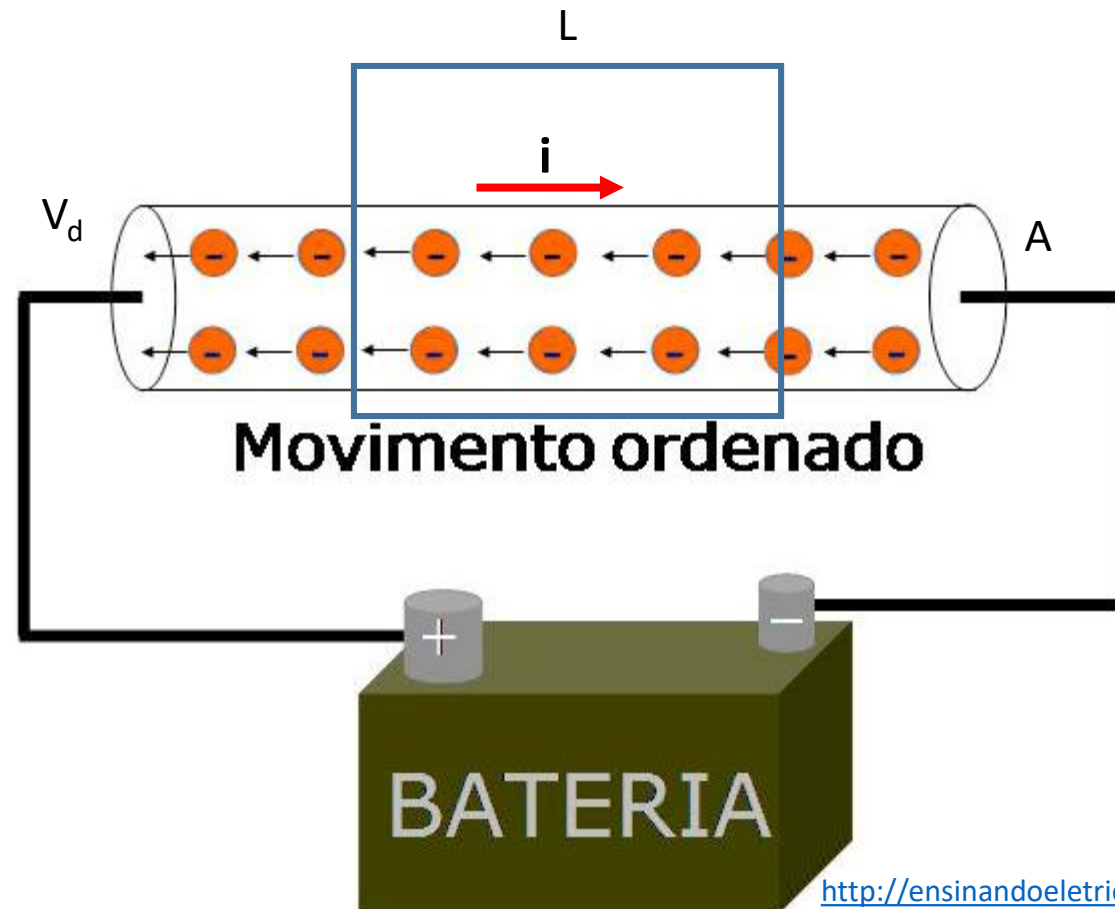


Velocidade de Deriva



Velocidade de Deriva

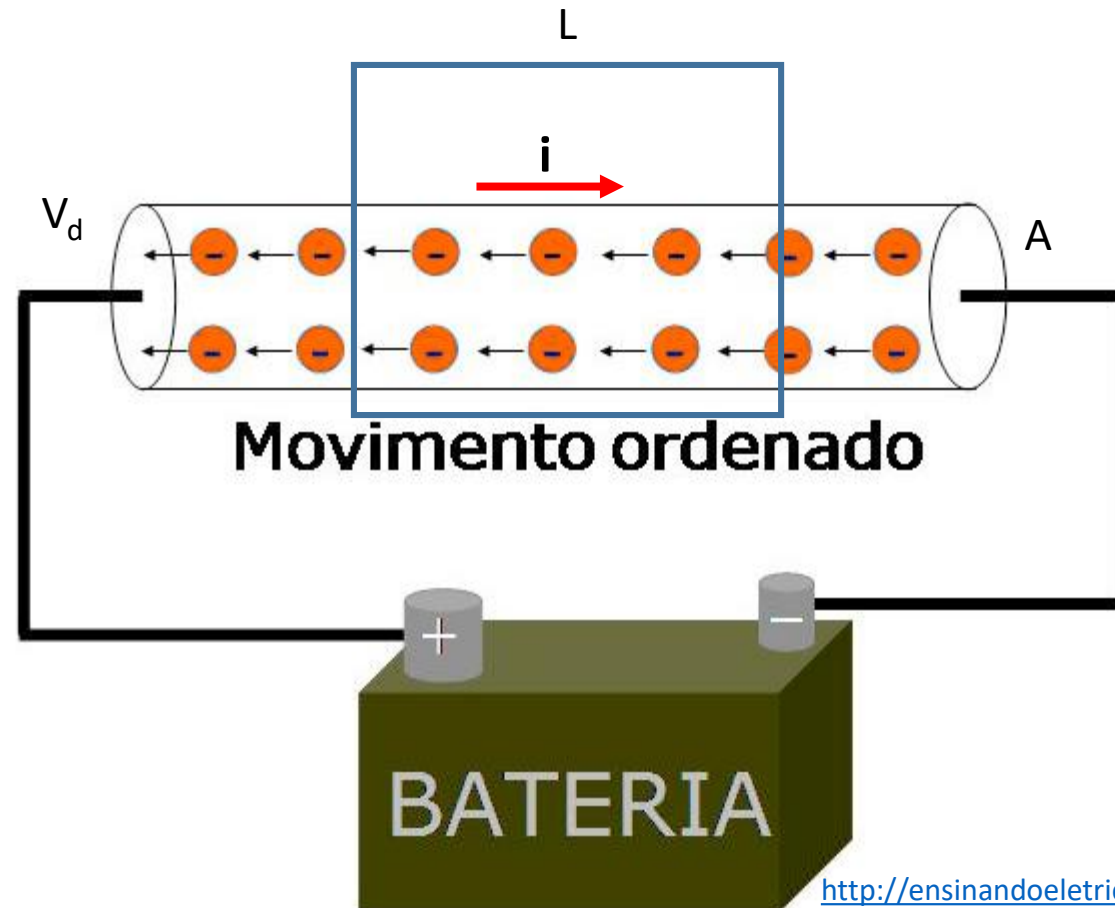
$$n = \frac{\text{número de portadores de carga}}{\text{Volume}}$$



Velocidade de Deriva

$$n = \frac{\text{número de portadores de carga}}{\text{Volume}}$$

$$\text{número de portadores de carga} = \text{Volume} \cdot n$$

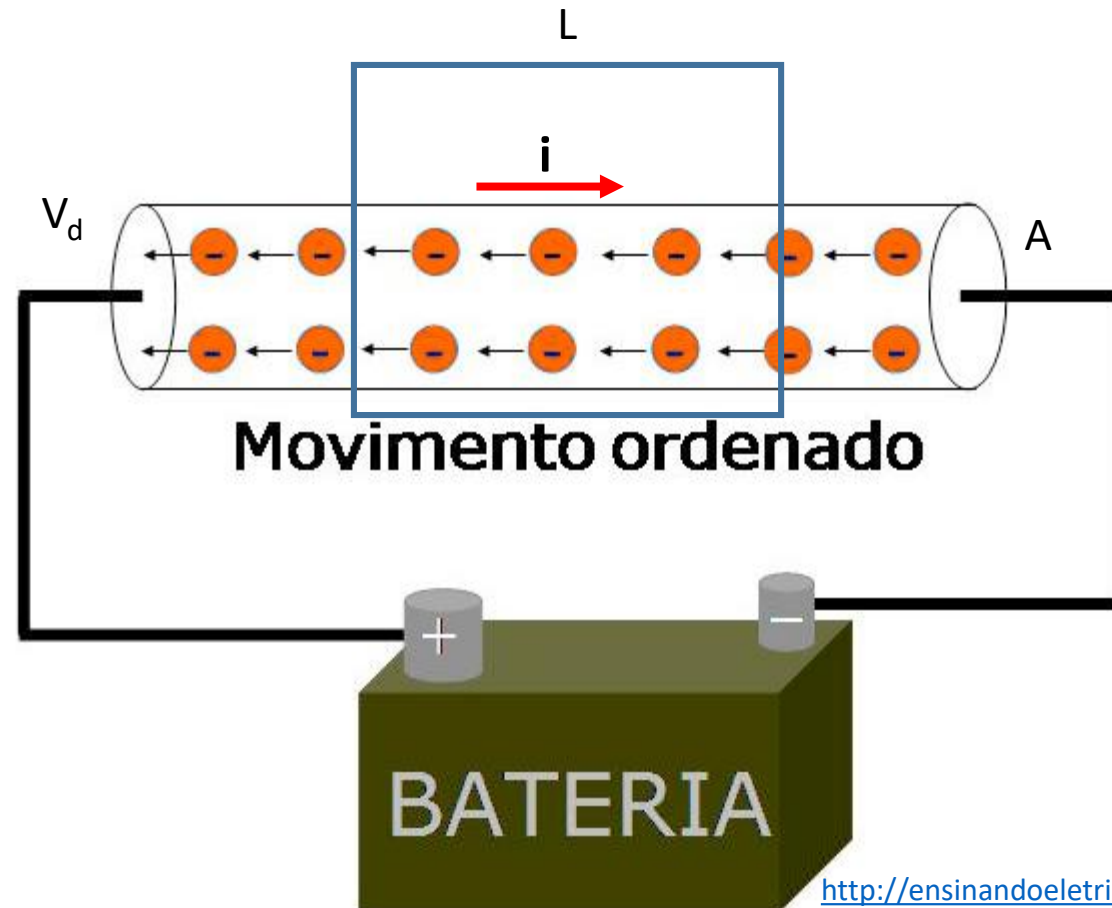


Velocidade de Deriva

$$n = \frac{\text{número de portadores de carga}}{\text{Volume}}$$

$$\text{Volume} = A.L$$

$$\text{número de portadores de carga} = \text{Volume}.n$$



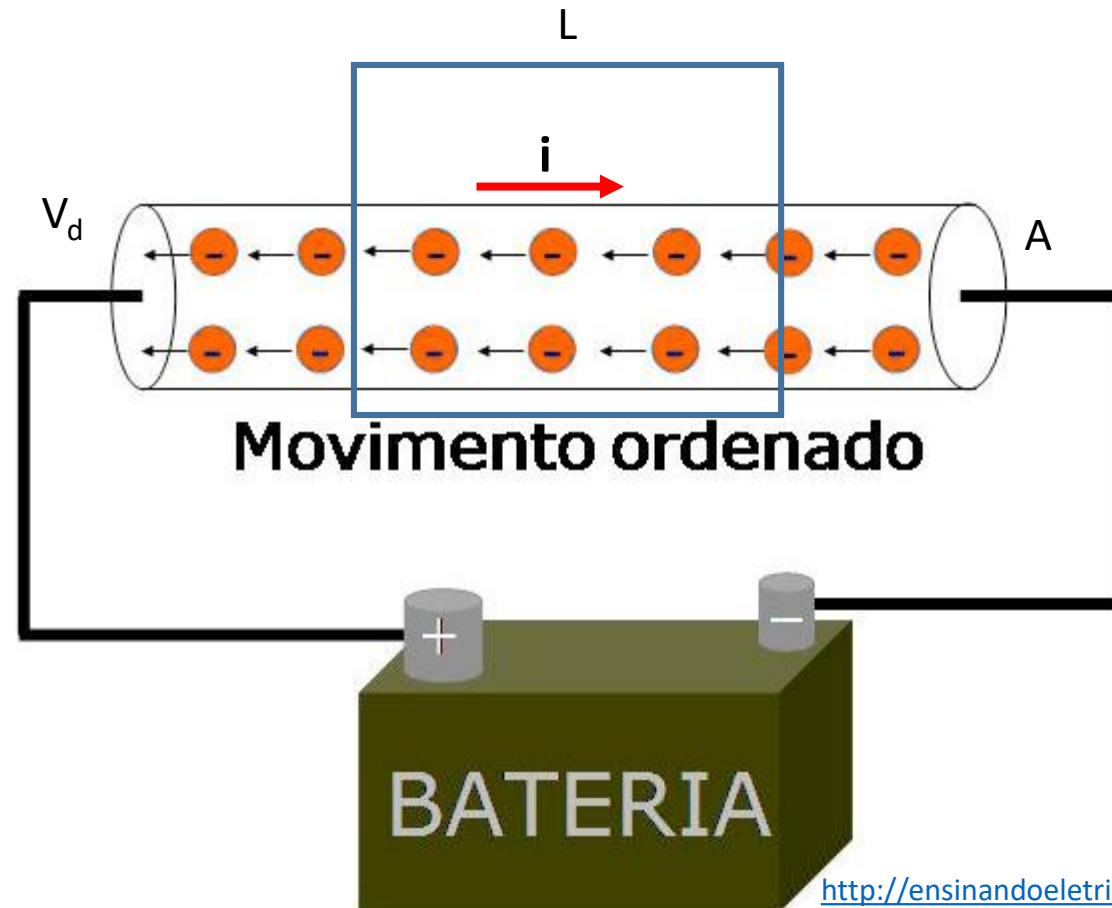
Velocidade de Deriva

$$n = \frac{\text{número de portadores de carga}}{\text{Volume}}$$

$$\text{Volume} = A \cdot L$$

$$\text{número de portadores de carga} = \text{Volume} \cdot n$$

$$q = \text{número de portadores} \cdot e$$



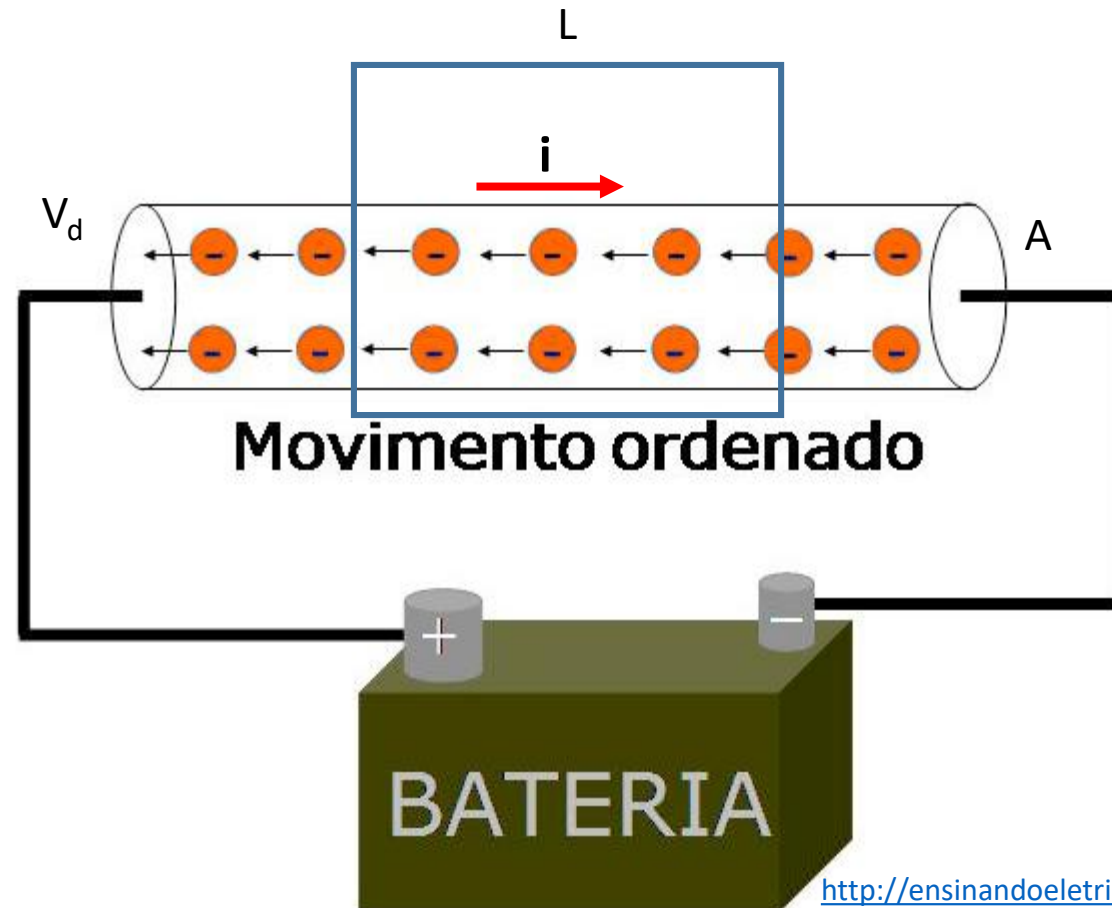
Velocidade de Deriva

$$n = \frac{\text{número de portadores de carga}}{\text{Volume}}$$

$$\text{Volume} = A.L$$

$$\text{número de portadores de carga} = \text{Volume} \cdot n$$

$$q = \text{número de portadores} \cdot e$$



$$q = A.L.n.e$$

Velocidade de Deriva

$$n = \frac{\text{número de portadores de carga}}{\text{Volume}}$$

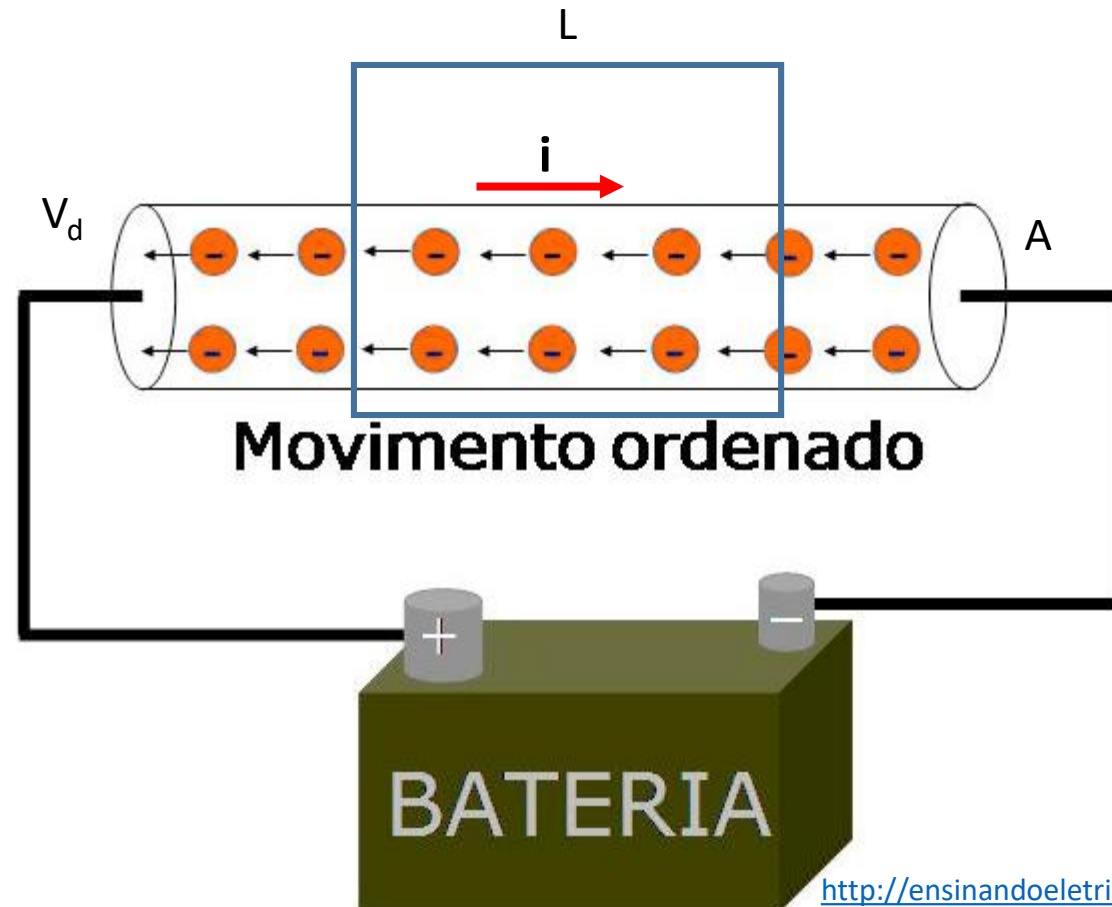
$$\text{Volume} = A.L$$

$$\text{número de portadores de carga} = \text{Volume} \cdot n$$

$$V_d = \frac{L}{t}$$

$$q = \text{número de portadores} \cdot e$$

$$q = A.L.n.e$$



Velocidade de Deriva

$$V_d = \frac{L}{t}$$

$$q = A.L.n.e$$

Velocidade de Deriva

$$q = A \cdot L \cdot n \cdot e$$

$$V_d = \frac{L}{t}$$

Velocidade de Deriva

$$q = A \cdot L \cdot n \cdot e$$

$$V_d = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{V_d}$$



Velocidade de Deriva

$$q = A \cdot L \cdot n \cdot e$$

$$V_d = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{V_d}$$

$$i = \frac{q}{t} \rightarrow i = \frac{ALne}{L} V_d$$

Velocidade de Deriva

$$q = A \cdot L \cdot n \cdot e$$

$$V_d = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{V_d}$$

$$i = \frac{q}{t} \rightarrow i = \frac{A \cancel{L} n e}{L} V_d$$

Velocidade de Deriva

$$q = A \cdot L \cdot n \cdot e$$

$$V_d = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{V_d}$$

$$\left. \begin{array}{l} q = A \cdot L \cdot n \cdot e \\ V_d = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{V_d} \end{array} \right\} i = \frac{q}{t} \rightarrow i = \frac{A \cancel{L} n e}{\cancel{L}} V_d$$
$$i = A n e V_d$$

Velocidade de Deriva

$$q = A \cdot L \cdot n \cdot e$$

$$V_d = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{V_d}$$

$$i = \frac{q}{t} \rightarrow i = \frac{A \cancel{L} n e}{\cancel{L}} V_d$$

$$i = A n e V_d$$

$$\frac{i}{A} = n e V_d$$

Velocidade de Deriva

$$q = A \cdot L \cdot n \cdot e$$

$$V_d = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{V_d}$$

$$i = \frac{q}{t} \rightarrow i = \frac{A L n e}{L} V_d$$

$$i = A n e V_d$$

$$J = \frac{i}{A} = n e V_d$$

Velocidade de Deriva

$$q = A \cdot L \cdot n \cdot e$$

$$V_d = \frac{L}{t} \rightarrow t = \frac{L}{V_d}$$

$$i = \frac{q}{t} \rightarrow i = \frac{A L n e}{L} V_d$$
$$i = A n e V_d$$

$$J = \frac{i}{A} = n e V_d$$

$$\vec{J} = (n e) \vec{V}_d$$

Ligando o interruptor

V_d é da ordem de 10^{-7} m/s

Ligando o interruptor

V_d é da ordem de 10^{-7} m/s

é da ordem de 0,3 mm/h

Ligando o interruptor

V_d é da ordem de 10^{-7} m/s

é da ordem de 0,3 mm/h

Por que a luz acende quando ligamos o interruptor?



Ligando o interruptor

V_d é da ordem de 10^{-7} m/s

é da ordem de 0,3 mm/h

Por que a luz acende quando ligamos o interruptor?



Resistência

Resistência

“ação ou efeito de resistir, de não ceder nem sucumbir”



<https://outraspalavras.net/outrasmidias/policia-a-possivel-resistencia/>

www.sindeesmat.org.br%2F1o-de-maio-foi-um-dia-de-resistencia-e-luta



Resistência

No condutor elétrico:

$$R = \frac{V}{i}$$

No laboratório, medimos R aplicando uma diferença de potencial e medindo a corrente

Resistência

No condutor elétrico:

$$[R] = \frac{[V]}{[i]} = \frac{V}{A} = \text{ohm}[\Omega]$$

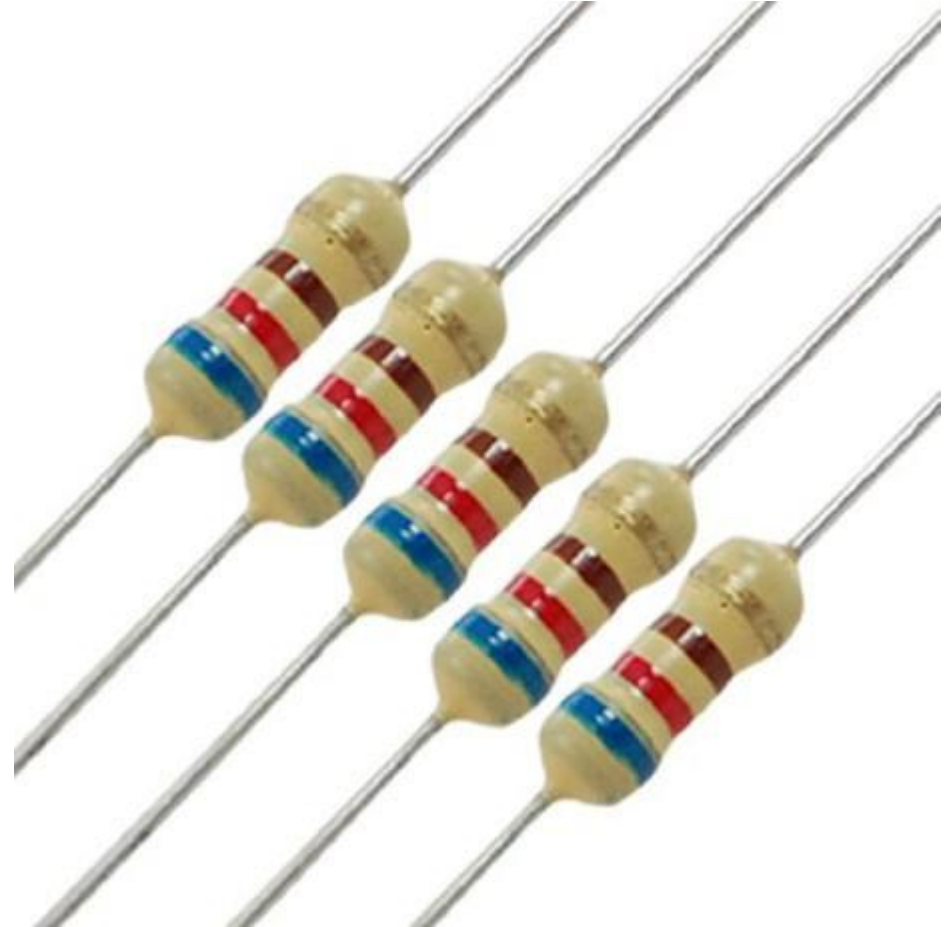
No laboratório, medimos R aplicando uma diferença de potencial e medindo a corrente

Resistência

No condutor elétrico:

$$R = \frac{V}{i}$$

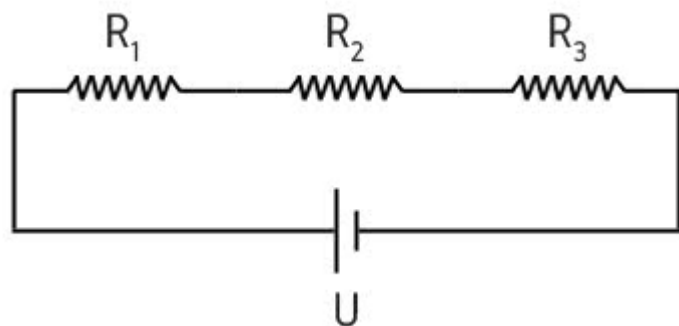
Resistor: tem a função de introduzir resistência



Resistência

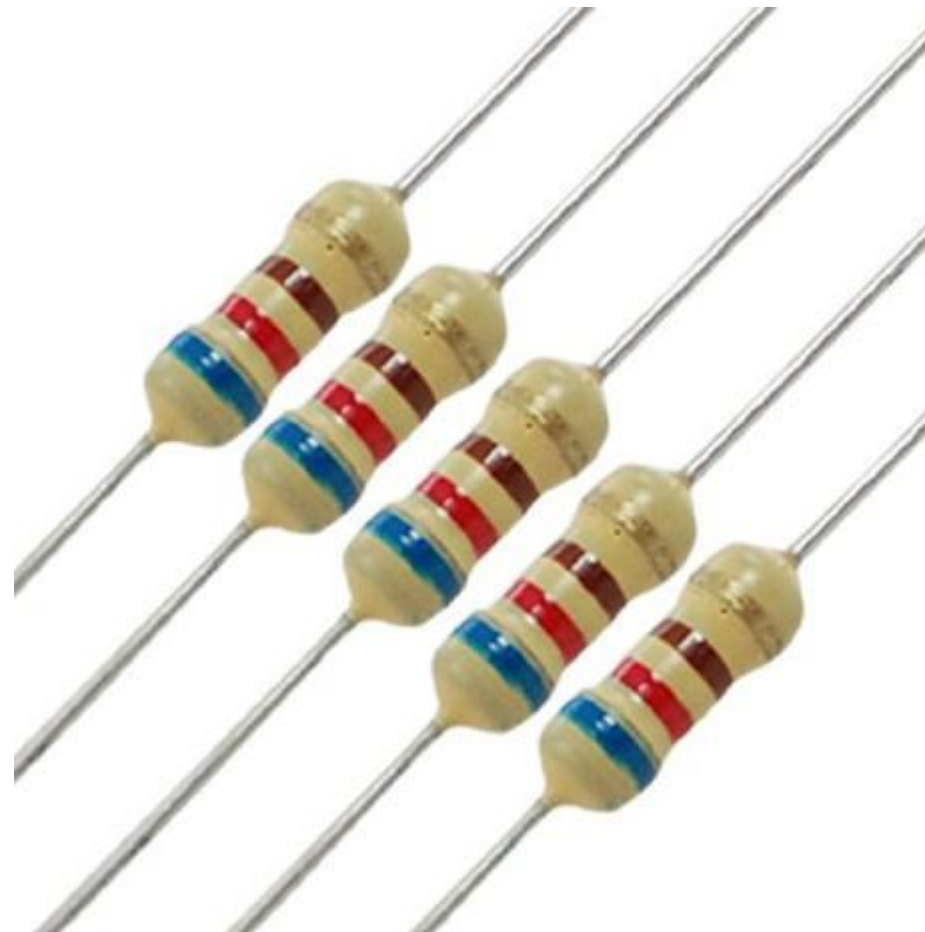
No condutor elétrico:

$$R = \frac{V}{i}$$



<https://www.todamateria.com.br/associacao-de-resistores/>

Resistor: tem a função de introduzir resistência

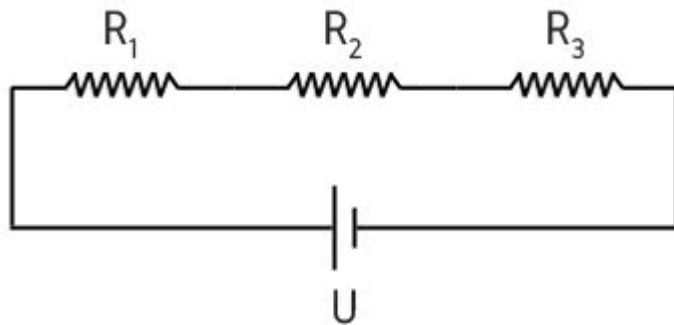


<https://www.magazineluiza.com.br/100-unidades-100k-ohm-resistor-1-4w-5-arduino-esp8266-robohelp/p/jc5d70d361/pf/pgre/>

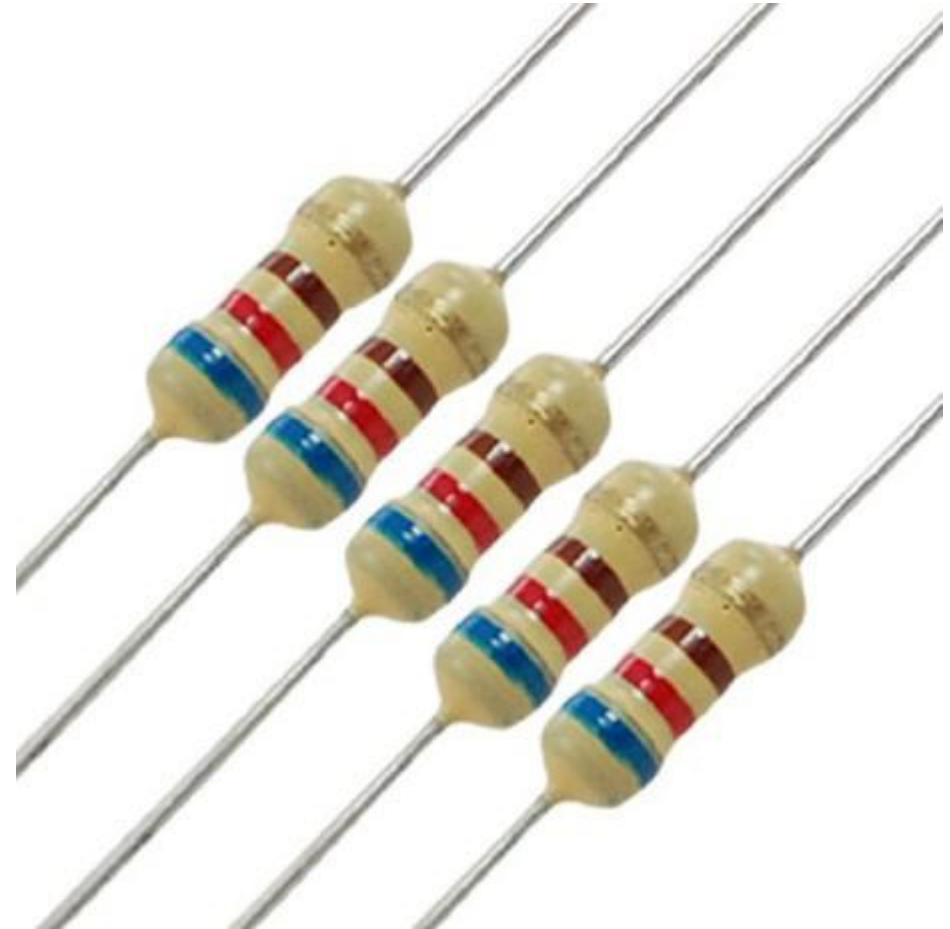
Resistência

No condutor elétrico:

$$R = \frac{V}{i} \rightarrow i = \frac{V}{R}$$



Resistor: tem a função de introduzir resistência



Resistividade

Característico do material

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Resistividade

Característico do material

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Campo elétrico que existe num dado ponto do material

Densidade de corrente nesse mesmo ponto

Resistividade

Característico do material

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Campo elétrico que existe num dado ponto do material

Densidade de corrente nesse mesmo ponto

$$[\rho] = \frac{[E]}{[J]} = \frac{V/m}{A/m^2} = \frac{V}{A} m =$$

Resistividade

Característico do material

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Campo elétrico que existe num dado ponto do material

Densidade de corrente nesse mesmo ponto

$$[\rho] = \frac{[E]}{[J]} = \frac{V/m}{A/m^2} = \frac{V}{A} m = \Omega \cdot m$$

Resistividade

Característico do material

$$\rho = \frac{E}{J}$$

Campo elétrico que existe num dado ponto do material

Densidade de corrente nesse mesmo ponto

Condutividade

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Resistividade

Característ

Material	Resistividade $r(\Omega.m)$	Coef. de Temp. a C° -1
Condutores		
Prata	$1,58 \cdot 10^{-8}$	0,0061
Cobre	$1,67 \cdot 10^{-8}$	0,0068
Alumínio	$2,65 \cdot 10^{-8}$	0,0043
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-8}$	0,0045
Ferro	$9,71 \cdot 10^{-8}$	0,0065
Semicondutores		
Carbono (grafite)	$(3 - 60) \cdot 10^{-5}$	-0,0005
Germânio	$(1 - 500) \cdot 10^{-3}$	-0,0500
Silício	0,1 - 60	-0,0700
Isolantes		
Vidro	$10^9 - 10^{12}$	
Borracha	$10^{13} - 10^{15}$	

Condutivid

Resistência e Resistividade

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/L}{i/A}$$

Resistência e Resistividade

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/L}{i/A} = R \frac{L}{A}$$

Resistência e Resistividade

$$\rho = \frac{E}{J} = \frac{V/L}{i/A} = R \frac{L}{A}$$

Propriedades microscópicas

Propriedades macroscópicas

Variação da Resistividade com a Temperatura

Variação da Resistividade com a Temperatura

Material	Resistividade $r(\Omega.m)$	Coef. de Temp. a C° -1
Condutores		
Prata	$1,58 \cdot 10^{-8}$	0,0061
Cobre	$1,67 \cdot 10^{-8}$	0,0068
Alumínio	$2,65 \cdot 10^{-8}$	0,0043
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-8}$	0,0045
Ferro	$9,71 \cdot 10^{-8}$	0,0065
Semicondutores		
Carbono (grafite)	$(3 - 60) \cdot 10^{-5}$	-0,0005
Germânio	$(1 - 500) \cdot 10^{-3}$	-0,0500
Silício	0,1 - 60	-0,0700
Isolantes		
Vidro	$10^9 - 10^{12}$	
Borracha	$10^{13} - 10^{15}$	

Variação da Resistividade com a Temperatura

$$\rho - \rho_0 = \rho_0 \alpha (T - T_0)$$

Linear

0: normalmente, t°C ambiente

Material	Resistividade r(Ω.m)	Coef. de Temp. a C°)-1
Condutores		
Prata	$1,58 \cdot 10^{-8}$	0,0061
Cobre	$1,67 \cdot 10^{-8}$	0,0068
Alumínio	$2,65 \cdot 10^{-8}$	0,0043
Tungstênio	$5,6 \cdot 10^{-8}$	0,0045
Ferro	$9,71 \cdot 10^{-8}$	0,0065
Semicondutores		
Carbono (grafite)	$(3 - 60) \cdot 10^{-5}$	-0,0005
Germânio	$(1 - 500) \cdot 10^{-3}$	-0,0500
Silício	0,1 - 60	-0,0700
Isolantes		
Vidro	$10^9 - 10^{12}$	
Borracha	$10^{13} - 10^{15}$	

A lei de Ohm

$$R = \frac{V}{i}$$

Um componente que obedece à Lei de Ohm → A corrente varia linearmente com a voltagem aplicada

A lei de Ohm

$$R = \frac{V}{i} \rightarrow \mathbf{V} = R \cdot \mathbf{i}$$

Um componente que obedece à Lei de Ohm \rightarrow A corrente varia linearmente com a voltagem aplicada

A lei de Ohm

$$R = \frac{V}{i} \rightarrow \mathbf{V} = R \cdot \mathbf{i}$$

Um componente que obedece à Lei de Ohm \rightarrow A corrente varia linearmente com a voltagem aplicada

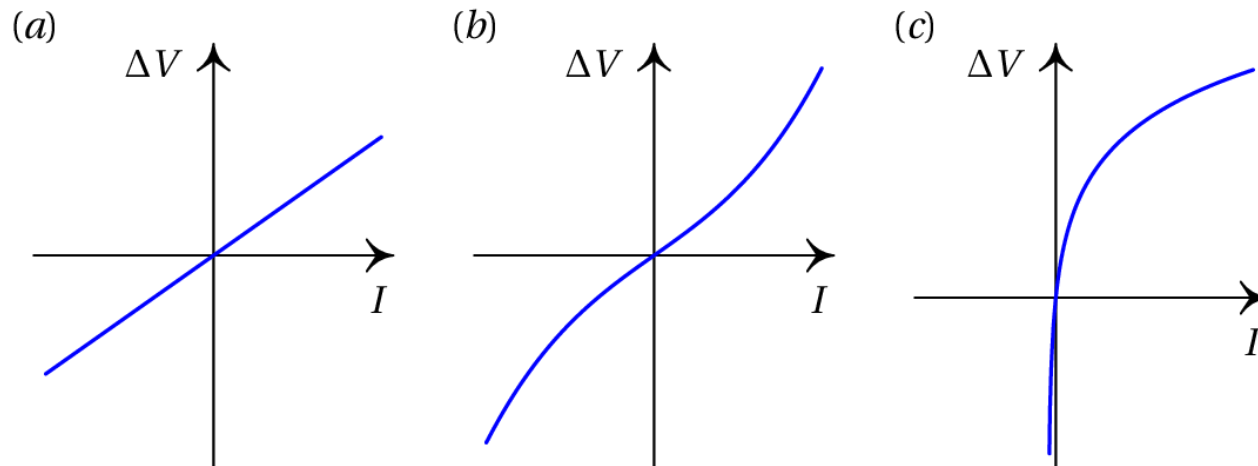
\rightarrow A resistência não depende de V nem do campo Elétrico

A lei de Ohm

$$R = \frac{V}{i} \rightarrow V = R \cdot i$$

Um componente que obedece à Lei de Ohm \rightarrow A corrente varia linearmente com a voltagem aplicada

\rightarrow A resistência não depende de V nem do campo Elétrico



Potência

$$Potência = \frac{Energia}{tempo} = \frac{dE}{dt}$$

lousa

Potência

$$Potência = \frac{Energia}{tempo} = \frac{dE}{dt}$$

$$P = iV$$

Potência

$$Potência = \frac{Energia}{tempo} = \frac{dE}{dt}$$

$$P = iV$$

$$R = \frac{V}{i}$$

Potência

$$Potência = \frac{Energia}{tempo} = \frac{dE}{dt}$$

$$P = iV$$

$$R = \frac{V}{i}$$

$$P = i^2 R$$

$$P = \frac{V^2}{R}$$